



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

**Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura
(CEBAS-CSIC)**

**Ingeniería Técnica Industrial especialidad en Química
Industrial**

TRABAJO FIN DE CARERA:

***“Influencia del riego con agua regenerada en el cultivo
hidropónico de tomate bajo diferentes sustratos”***

Olimpia Monica Popa

Murcia, 2013

Juan José Alarcón Cabañero y *Francisco Pedrero Salcedo* del Departamento de Riego del Centro de Edafología y Biología aplicada del Segura del Consejo Superior de Investigaciones y *Juan Ignacio Moreno Sánchez* profesor titular del Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cartagena

CERTIFICAN:

Que el presente Trabajo Fin de Carrera: **“Influencia del riego con agua regenerada en el cultivo hidropónico de tomate bajo diferentes sustratos”** presentado por *Olimpia Monica Popa*, ha sido realizado bajo nuestra dirección para optar al título de Ingeniería Técnica Industrial especialidad en Química Industrial.

Y para que conste a los efectos oportunos, firmamos la presente en Murcia a 15 de Septiembre de 2013.

Fdo:



Fdo: Juan José Alarcón Cabañero



Fdo: Francisco Pedrero Salcedo

Fdo: Juan Ignacio Moreno Sánchez

Fdo: Olimpia Monica Popa

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Juan José Alarcón Cabañero, Profesor de Investigación del Departamento de Riego del CEBAS-CSIC, permitirme hacer el Proyecto Final de Carrera sobre este tema tan interesante como necesario en nuestra Región y formar parte de su equipo compuesto por: Emilio Nicolás, Francisco Pedrero , Cristina Romero, José María Bayona, Oussama Mounzer, Pedro A. Nortes y Rosalía Alcobendas, a los cuales también quiero agradecer enormemente su acogida, ayuda y apoyo en todo momento. Agradecer al proyecto financiado por la Unión Europea (EUROSTAR) EUS-20110154 “Intelligent Reclaim Irrigation System” (IRIS) (2011-2014), bajo el cual he podido desarrollar mi Proyecto. Un especial y profundo agradecimiento a Francisco Pedrero Salcedo, tutor y supervisor de mi proyecto, por transmitirme su ilusión, por su esfuerzo, por ser mi guía, por su gran ayuda y apoyo hacia mí durante todo el periodo. Y por último, darles las gracias a mi familia y amigos por darme los medios y el apoyo necesario para poder realizar este trabajo y avanzar en la vida.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Escasez del agua a nivel mundial. Situación actual y futura.....	1
1.2 Uso de las aguas regeneradas en agricultura.....	2
1.3 Ventajas e inconvenientes del uso de las aguas regeneradas.....	2
1.4 Alcance mundial de la utilización de las aguas regeneradas.....	4
1.5 Agricultura de precisión. Producción intensiva en invernadero.....	6
1.6 Agricultura en la región de Murcia. Futuro y sostenibilidad.....	7
2. Justificación y objetivo del proyecto.....	8
3. Materiales y Métodos.....	9
3.1. Condiciones experimentales.....	9
3.2. Manejo de las condiciones climáticas y del fertirriego.....	11
3.3. Análisis de Agua.....	13
3.4. Análisis Foliar. Estado hídrico e intercambio gaseoso.....	14
3.5 Producción, calidad y seguridad del fruto.....	16
4. Resultados y discusión.....	18
4.1 Calidad del agua de riego y ahorro de fertilizantes.....	18
4.2 Calidad del agua de riego.....	19
4.3 Relaciones planta-agua.....	21

4.4 Análisis foliar.....	25
4.5 Crecimiento vegetativo, producción y calidad del fruto.....	27
5. Conclusiones.....	32
6. Bibliografía.....	33

Índice de figuras

Figura 1: Escasez de agua proyectada para 2025.....	1
Figura 2: Uso de las aguas regeneradas en España.....	4
Figura 3: Ubicación de la Región de Murcia. Ubicación de las diferentes plantas depuradoras de la Región de Murcia (círculos azules). Parcela experimental en las instalaciones de la depuradora Roldán-Balsicas (círculo rojo), Murcia, España.....	9
Figura 4: Disposición aleatoria de los cuatro tratamientos dentro del invernadero en el cultivo de tomate, con tres repeticiones por tratamiento: el color amarillo-marrón representa el tratamiento T1 (AC-FC), el amarillo-naranja T2 (AC-LR), el verde-marrón T3 (AD-FC) y el verde-naranja T4 (AD-LR).....	12
Figura 5: Ahorro de fertilizantes, calculados en Kg por ha aplicados (N - P ₂ O ₅ - K ₂ O - Cao) entre las dos fuentes de agua de riego, AD (agua regenerada) y AC (agua de la Comunidad de Regantes).....	19
Figura 6: Evolución del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) durante el periodo de ensayo. Cada punto es el promedio de medición de nueve medidas. Cada tratamiento está representado con un color, T1 (AC-FC), color azul y T2 (AC-LR), color rojo. * Indica diferencias significativas según LSD0.05.....	22
Figura 7: Evolución del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) durante el periodo de ensayo. Cada punto es el promedio de medición de nueve medidas. Cada tratamiento está representado con un color, T3 (AD-FC), color verde y T4 (AD-LR), color púrpura. * Indica diferencias significativas según LSD0.05.....	22

Figura 8: Tasa neta de asimilación de CO₂ (Pn) y la conductancia estomática al vapor de agua (g_s) durante la experiencia. Cada tratamiento está representado con un color, T1 (AC-FC), color azul y T2 (AC-LR), color rojo. * Indica diferencias significativas según LSD_{0,05}.....23

Figura 9: Tasa neta de asimilación de CO₂ (Pn) y la conductancia estomática al vapor de agua (g_s) durante la experiencia. Cada tratamiento está representado con un color, T3 (AD-FC), color verde y T4 (AD-LR), color púrpura. * Indica diferencias significativas según LSD_{0,05}.....24

Figura 10: Concentración media de macroelementos al comienzo (10/04/2013) y final de la experiencia (28/08/2013). Las columnas azules oscuro representan cantidades de calcio (Ca), las columnas azul claro cantidad de azufre (S), el color naranja indica cantidad de nitrógeno (N), el color verde de las columnas representa cantidades de magnesio (Mg), y las de color violeta cantidades de fósforo (P), presentes en los cuatro tratamientos aplicados T1, T2, T3, T4, para los dos tipos de agua AD (agua de la depuradora) y AC (agua de la Comunidad de Regantes). Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con LSD_{0,05}.....26

Figura 11: Concentración media de microelementos al comienzo (10/04/2013) y final de la experiencia (28/08/2013). Las columnas azules claros representan cantidades de B (boro), las columnas verdes cantidades de Cu (cobre), los granates cantidades de Fe hierro, las violetas cantidades de manganesio (Mg), determinados en AD, agua regenerada y AC agua de la Comunidad de Regantes, para todos los tratamientos aplicados :T1, T2, T3, T4 . Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con LSD_{0,05}.....27

Figura 12: Distribución de los calibres comerciales obtenidos durante el experimento, para cada uno de los cuatros tratamientos aplicados. Las columnas azules representan los tratamientos T1 (AC-FC), la columna roja T2 (AC-LR), la verde T3 (AD-FC), y la púrpura, T4 (AD-LR).....29

Índice de fotos

Foto 1: Vista aérea de la depuradora Roldán-Balsicas junto con la batería de invernaderos experimentales en su interior.....	9
Foto 2: Vista del cultivo del tomate a los 3 meses de su plantación.....	10
Foto 3: Vista de la parcela experimental con el invernadero y el cabezal de riego.....	11
Foto 4: Cabezal de riego. Detalle del sistema CLINVERTEC® y del esquema interior del cabezal.....	12
Foto 5: Equipos para la evaluación de la calidad del agua: a) medidor de oxígeno disuelto, b) pH-metro, c) turbidímetro y d) equipos multi-rango, conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos	13
Foto 6: Sistema de filtración compuesto por membranas que se utiliza para la determinación de E. Coli y Coliformes Fecales.....	14
Foto 7: Equipo de medida del potencial de tallo utilizando una cámara de presión: modelo 3000, Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, California, EEUU.....	15
Foto 8: Equipo de fotosíntesis portátil (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, EEUU) utilizado para la medida del intercambio gaseoso.....	16
Foto 9: Recolección de las plantas seleccionadas de tomate.....	17

Índice de tablas

Tabla 1: Cultivos agrícolas que utilizan aguas residuales municipales, tratadas y sin tratar.....	5
Tabla 2: Media durante ocho meses de los indicadores de calidad del agua de riego: conductividad eléctrica, CE, dS m^{-1} , relación de absorción de sodio, RAS, y composiciones químicas: B, K, Na, P, NO_3 y Cl^- en mg L^{-1} , de las dos fuentes de agua de riego: AD, agua regenerada y AC, agua de la Comunidad de Regantes.....	20
Tabla 3: Producción obtenida en Kg planta^{-1} , numero de frutos obtenidos en el ensayo (45 plantas por tratamiento), el uso eficiente del agua para el cultivo de tomate y la optimización del consumo de agua por las plantas durante los meses del experimento desde enero-agosto, en los cuatro tratamientos, T1 (AC-FC), T2 (AC-LR), T3 (AD-FC), y T4 (AD-LR), aplicando las dos fuentes de agua de riego: AD, agua regenerada y AC, agua de la Comunidad de Regantes. Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con $\text{LSD}_{0.05}$	29
Tabla 4: Parámetros medios de calidad de la fruta. Firmeza (mm), pH , CSS, Acidez total (mg g^{-1}), índice de madurez., color (HUE), color (Chroma), aplicando los dos tipos de agua AD - agua regenerada, AC - agua de la Comunidad Regantes), para los cuatro tratamientos aplicados T1 (AC-FC), T2 (AC-LR), T3 (AD-FC), y T4 (AD-LR). Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con $\text{LSD}_{0.05}$	31

1. Introducción:

1.1. Escasez del agua a nivel mundial. Situación actual y futura:

Junto con la eliminación de la pobreza y la hambruna, la lucha contra la escasez del agua es uno de los mayores objetivos de la sociedad actual. Hoy en día, gran cantidad de países están sufriendo una importante escasez de agua a diferentes niveles de escasez hídrica ($<1000 \text{ m}^3$ per Capita). Para el año 2025, el 38% de la población mundial vivirá en países con estrés hídrico o escasez hídrica, y esta cifra aumentará a la mitad de la población mundial para 2050 (Figura 1). Algunos ejemplos de regiones estresadas hídricamente son los países de Oriente Medio, Norte y Sur de África, Oeste asiático y la región del Mediterráneo (Jiménez y Asano, 2008).

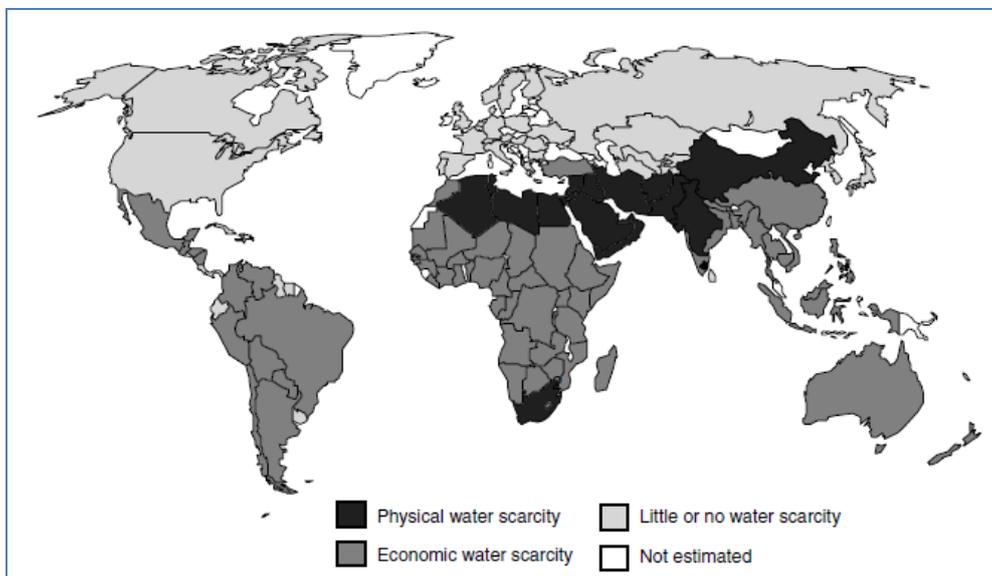


Figura 1. Mapa mundial con la escasez de agua proyectada para 2025

El reparto desigual de los recursos hídricos a nivel mundial, no solo representa un problema severo para el consumo de agua potable, también para otras muchas actividades como el riego agrícola (Asano y col.,2007). Especialmente en áreas áridas y semiáridas, la escasez de agua disponible se presenta como un obstáculo para el desarrollo futuro de estos países (Pescod, 1992). Por lo tanto, es crucial para asegurar un desarrollo futuro próspero y sostenible, un manejo adecuado de todos los recursos hídricos disponibles. Las aguas residuales, definidas como las aguas usadas de las casas, negocios, industrias y agricultura, se presentan como un importante recurso hídrico a ser considerado (Asano y col.,2007). La regeneración de las aguas residuales, es decir, el tratamiento y procesado de los efluentes para ser reutilizados, es introducido como un elemento clave ara ayudar a mitigar el estrés hídrico en muchos países alrededor del mundo.

1.2. Uso de las aguas regeneradas en agricultura:

La creciente competencia entre los usos agrícolas y urbanos por el agua dulce de alta calidad, especialmente en las regiones áridas y semiáridas y densamente pobladas, aumentará la presión sobre este recurso cada vez más escaso. Las aguas regeneradas pueden ser una fuente de agua más fiable (disponible todo el año) que otras fuentes con las que cuentan los agricultores, aunque esto depende de que las fuentes primarias de aguas urbanas también sean fiables. El valor del agua regenerada ha sido reconocido ampliamente por los agricultores, no sólo como recurso hídrico, sino además por los nutrientes-fertilizantes que contiene, que favorecen el crecimiento de las plantas y mejoran las propiedades de los suelos. La regeneración de las aguas residuales y su reutilización en la agricultura está teniendo una amplia aceptación en muchas partes del mundo.

En muchos países con escasez de agua, las aguas residuales son importantes para equilibrar la demanda y la oferta de agua para diversos usos. Los impulsores de la reutilización de aguas son distintos en los países desarrollados y en los países en desarrollo, pero existen problemas comunes como el aumento de la población y la demanda de alimentos, escasez de agua y preocupación acerca de la contaminación ambiental. Todos estos factores hacen que el agua regenerada sea un recurso potencialmente valioso. Sin embargo, la reutilización de agua conlleva cambios en las estructuras tradicionales de asignación de recursos hídricos, financiamiento de estructuras, consideración de estándares de calidad del agua, marcos reglamentarios y mandatos institucionales. Implica una buena gestión a todos los niveles, con el fin de desarrollar un enfoque holístico y políticas consistentes para la asignación de recursos hídricos que satisfagan las múltiples necesidades de los usuarios (ONU, 2013)

1.3 Ventajas e inconvenientes de la reutilización de las aguas residuales:

Según Mujeriego (1990) y Asano y col. (2007), la utilización de aguas regeneradas puede tener múltiples beneficios. En primer lugar, la reducción del aporte de contaminantes a los cursos naturales del agua, en particular cuando la utilización se efectúa mediante riego agrícola, de jardinería o forestal. En segundo lugar, se tendría una mayor fiabilidad y regularidad del caudal de agua disponible ya que el flujo de agua regenerada es generalmente mucho más controlable que el de la mayoría de los cauces naturales de agua. Por último, la utilización de aguas regeneradas supone el aprovechamiento de los elementos nutritivos contenidos en el agua, sobre todo para usos de riego (agrícola y de jardinería), constituyendo una aportación de fertilizantes a las plantas.

En contraposición, existen riesgos si la aportación adicional sobrepasara las necesidades de la planta ya que originarían problemas en los cultivos relacionados con crecimientos vegetativos excesivos, maduración tardía o desigual de los frutos, o una calidad inferior de éstos. En estos casos, es importante verificar la aportación de nutrientes en el agua y tenerlos en cuenta a la hora de establecer el programa de fertilización. Siguiendo con los riesgos de utilización de estas aguas regeneradas, hay que destacar la presencia de altos contenidos de sales que oscilan, en general, entre conductividades eléctricas de 2-4 dS/m. Por tanto, podrían presentarse daños en las plantas asociados al uso de aguas salinas, si no se produjera lavado de sales con el manejo del riego o aparecieran eventuales lluvias invernales (Ramos, 1997).

Estos efectos directos en las plantas se extenderían a medio plazo a nivel de los suelos afectando a su permeabilidad, ya que las concentraciones relativamente altas de sodio aumentan el valor de la relación de adsorción de sodio (RAS) y suponen un problema añadido en los proyectos de reutilización de agua residual, debido a sus efectos en la disminución de la capacidad de infiltración de los suelos. Por último, las aguas regeneradas pueden presentar iones fitotóxicos, siendo los más importantes el sodio, el boro y los cloruros, de entre los cuales los dos últimos son los que presentan una mayor incidencia (Resh, 1997).

En cuanto al riesgo sanitario que presentarían estas aguas regeneradas, es evidente que su utilización comporta un alto riesgo, tanto para el público como para los trabajadores del sistema, ya que la exposición a microorganismos patógenos y a sustancias tóxicas es más elevada en estos casos que en aquéllos en los que se utilizan aguas de buena calidad. Por este motivo, el objetivo último es reducir al mínimo la exposición a estos agentes, manteniendo así los posibles peligros sanitarios dentro de un nivel aceptable. En general, la preocupación sanitaria que estas actividades suscitan está relacionada con el grado de contacto del agua residual depurada con las personas, el tipo y la calidad del agua residual depurada y la fiabilidad de los procesos de tratamiento. Los contaminantes de interés sanitario presentes en un agua residual pueden clasificarse de forma general en agentes biológicos y agentes químicos. El peligro principal del uso del agua regenerada es, a corto plazo, el aumento de exposición de la población a los patógenos y, a largo plazo, el peligro puede centrarse en la acumulación de determinados elementos o compuestos en plantas y productos de consumo que pueden afectar al hombre o a los animales.

algunos países tiene un papel importante, especialmente para la agricultura, Naciones Unidas ha estimado que en agricultura al menos 20 millones de hectáreas en 50 países son regadas con aguas residuales sin tratar o tratadas parcialmente, diluidas o no, lo que representa alrededor del 10% del total de las tierras de regadío. Alrededor de 525,000 ha son regadas con agua regenerada.

A pesar de que se ha progresado en el control de la contaminación de las aguas residuales municipales, aún se sigue regando con aguas residuales sin tratar (Jiménez y Asano, 2008a; Jiménez y Asano, 2008b; Lazarova y Bahri, 2008; Bahri, 2009, AQUASTAT). La agricultura es el usuario principal de agua regenerada, al igual que de agua dulce. Se ha informado que al menos 44 países utilizan agua regenerada para el riego agrícola, con un uso total de más de 15 hm³/d (Jiménez y Asano, 2008b). En la Tabla 1, se muestra la amplia gama de cultivos que se riegan con aguas residuales sin tratar o tratadas parcialmente (esta tabla no incluye todos los cultivos, pero muestra los más comunes). Muchas más variedades de cultivos podrían utilizar agua regenerada bajo condiciones adecuadas (Asano et al., 2007; Lazarova y Bahri, 2005; Mujeriego, 1990; Pettygrove y Asano, 1985).

Tabla 1. Cultivos agrícolas que utilizan aguas residuales municipales, tratadas y sin tratar.

Tipos	Ejemplos de cultivos
Cultivos agrícolas	Cebada, maíz, avena, trigo
Cultivo de fibra y semilla	Algodón, semillas de flores y hortalizas
Cultivo de hortalizas que se pueden consumir en crudo	Brócoli, coliflor, apio, ajo, tomate, pimiento, lechuga
Cultivo de hortalizas que se deben procesar antes de consumir	Alcachofa, cebolla, remolacha, girasol
Huertos y viñedos	Árboles, frutales, maíz, limoneros,, pistachos ,ciruelos, olivos, datiles
Invernaderos	Flores

Fuentes: Asano et al. (2007); Jiménez y Asano (2008b); Lazarova y Bahri (2005); Pescod (1992); California State Water Resources Control Board (1990).

En España, 346 hm³ de agua son reutilizados en la agricultura española, el 79.2 % del volumen tratado (Iglesias y Ortega, 2008). En la Región de Murcia, se estima que en 2012, alrededor de 100 hm³ de aguas regeneradas al año, son usadas directa o indirectamente (ESAMUR, 2012). Alrededor del 50% de todas las aguas residuales, han sido tratadas con tratamiento terciario como se especifica en el Título 22 del código Agua de California. Gracias a esta implementación, el agua regenerada contribuye al 13% de los recursos hídricos renovables de la Cuenca del Segura (Ródenas y Albacete, 2012).

1.5 Agricultura de precisión. Producción intensiva en invernadero:

En los últimos años la horticultura en invernadero ha aumentado de forma constante en casi todo el planeta. La productividad del agua (PA) definida como el cociente entre el rendimiento y el uso del agua por el cultivo o volumen de agua aplicada (kg m⁻³), de los cultivos hortícolas bajo invernadero es considerablemente mas elevada (puede llegar a ser el doble) que la de los cultivos de aire libre fundamentalmente debido a i) las condiciones climáticas dentro del invernadero que reducen la demanda evaporativa y a ii) su mayores rendimientos (Gallardo y col. 2007). Se estima que la superficie invernada (con plástico) en el mundo ronda las 750.000 has. China, Japón, Corea y otras zonas de extremo oriente suman el 80 % del total mientras que los países de la cuenca mediterránea (España, Italia, Turquía, Marruecos, Francia, Argelia, Israel o Grecia) apenas suponen un 15 % (Jouet, 2004). Sólo China posee más de 250.000 ha, que se han conseguido a base de crecimientos del 30 % anual (Espí y col.,2006). En toda la cuenca mediterránea destaca el crecimiento de Turquía a razón anual de un 4 % (Emekli y col.,2010). En general, los datos reflejan una situación de aumento de la competencia donde las estructuras productivas, aunque con sus peculiaridades locales, tienden a una convergencia favorecida por la transferencia tecnológica realizada desde otras zonas de producción.

El invernadero como actividad económica ha compensado el problema de abandono y marginación de tierra agrarias (Galdeano y col.,2010). De hecho, la propia Unión Europea reconoce que se debe intensificar la actividad en tierras ya convertidas a la agricultura y que ofrecen altas posibilidades de productividad, dado que es preferible este criterio a la conversión de estas zonas en tierras marginales frágiles. En España la agricultura intensiva se concentra en el sureste español donde los recursos hídricos son muy escasos (Intrigliolo y col.,2011). Con respecto a la superficie bajo invernadero, el caso español es una excepción, a las dificultades territoriales de expansión, sobre todo en Almería, debemos sumar la existencia de un mercado maduro donde mantener la rentabilidad de las fincas se hace difícil.

Este punto es común denominador en las principales zonas productoras (Almería, Canarias y Murcia), manifestándose en una reducción de la superficie hortícola invernada. En Murcia, la superficie de invernadero pasó de 3000 ha en 1985 a 6050 ha en 2007 y 4023 ha en 2011 (CARM, 2012). La consecuencia inmediata de esta situación es el aumento del tamaño por explotación como método de optimización de recursos. Las fincas de mayor tamaño están intentando aumentar sus márgenes mediante un uso más eficiente de los recursos que reduzca sus costes unitarios. Se está observando como innovaciones en el manejo del invernadero pueden tener repercusiones relevantes en el beneficio. Por otro lado, la escasa superficie dedicada a nivel nacional a cultivos sin suelo y su necesidad futura de unirla a la utilización de aguas regeneradas, debido a la escasez de recursos hídricos de buena calidad, genera un gran interés en la realización de investigaciones tendentes a evaluar los efectos sobre el rendimiento y la calidad de la producción obtenida en zonas de infradotación hídrica, como es el caso de la Región de Murcia.

1.6 Agricultura en la región de Murcia futuro y sostenibilidad:

Murcia posee un clima Mediterráneo (<300mm, 3000 horas sol/año, HR media del 60%), una superficie cultivable de 566.623 ha (50% de la superficie total), de las cuales 188.695 ha están en regadío. La superficie de invernaderos se concentra en sus 252 km de costas. La agricultura murciana ha sufrido en los últimos tiempos un proceso de modernización y tecnificación. Gracias a factores como la innovación tecnológica, la mejora y modernización, el fomento del asociacionismo y la seguridad alimentaria, ha conseguido situarse entre las más modernas de Europa. Este proceso de modernización e incremento de la superficie agrícola de regadío en la Región, también ha tenido consecuencias medioambientales negativas que llevan a una planificación futura del sector agrícola diferente a la actual.

La salinización secundaria de los suelos en las regiones semi-áridas del planeta, afecta, al menos, a 20-30 millones de ha (Smedema and Shiati, 2002). Este hecho, afecta de lleno a la Región de Murcia, donde la agricultura intensiva supone un riesgo de salinización de suelos, debido al uso excesivo de fertilizantes. Esto unido a la continua sobreexplotación de los acuíferos (salinización de las aguas de riego) tendrá como consecuencia una pérdida de la calidad en los cultivos, riesgos medioambientales compactación del suelo y toxicidad por iones, que será mayor en las zonas productivas de la costa (Alcón y col., 2012). Estudios realizados en la zona, han demostrado que el riego con aguas de mala calidad, junto con el uso abusivo de fertilizantes, está creando un incremento de la salinidad del suelo y consecuentemente lleva a una degradación del suelo (Acosta y col.,2011).

Por otra parte, el uso abusivo de nutrientes en la agricultura, está llevando a una degradación de zonas de gran valor turístico en la costa Mediterránea. Por lo tanto, para la conservación de una agricultura intensiva rentable y respetuosa con el medio ambiente, se hacen necesarios proyectos agrícolas innovadores con un alto grado de tecnificación, donde se busque con la última tecnología, la reutilización y optimización de los recursos agua, nutrientes y energía, para la conservación del medio natural.

2. Justificación y objetivo del proyecto:

El Gobierno Español quiere alcanzar en los próximos años la cifra total de 1380 hm³ al año de agua regenerada, y el presupuesto para alcanzar este objetivo está estimado en alrededor de 650 M€. Este dato refleja múltiples beneficios y el Mercado de expansión mundial del uso de las aguas regeneradas, especialmente en la agricultura. Por este motivo, es necesario el conocimiento en el correcto uso del agua regenerada en los proyectos de reutilización de agua en la agricultura. Aunque diversos estudios han mostrado las ventajas y desventajas del uso de las aguas regeneradas en la agricultura (Rowe and Abdel - Magid, 1995, Huibers y col., 2006, Qadir y col., 2010, Iglesias Esteban and Ortega de Miguel, 2008, Garg and Kaushik, 2008, CTC, 2008), existen pocos estudios a nivel de campo (Pedrero y col., 2010), sobre el efecto del uso de las aguas regeneradas en condiciones climáticas controladas bajo invernadero y cultivo hidropónico. El objetivo principal de este proyecto va a ser evaluar los efectos que tienen la utilización de aguas regeneradas sobre el rendimiento y calidad de la cosecha en cultivos de tomate.

Este objetivo general se desglosará en los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar los efectos de utilización de las aguas regeneradas sobre la fisiología de dicho cultivo.
2. Comparación a nivel de rendimiento y calidad de la cosecha de la carga original de nutrientes que presenta el agua regenerada, cuyos niveles nutricionales también serán ajustados en el agua de riego de la Comunidad de Regantes.
3. Cuantificar la absorción de los principales elementos por los cultivos, a partir de un balance de distribución de los mismos en la solución nutritiva aplicada, realizado como diferencia entre los elementos extraídos por la planta y las pérdidas de los mismos en los drenajes obtenidos.
4. Evaluar los posibles efectos fitotóxicos en los cultivos producidos por las sales incorporadas en el agua de riego.

3. Materiales y métodos:

3.1 Condiciones experimentales:

El ensayo experimental se llevó a cabo en un invernadero situado en las instalaciones de la depuradora de Roldán-Balsicas ($37^{\circ}47'48.88''N$, $0^{\circ}57'33.63''O$), Murcia, España (Figura 3). La depuradora se construyó en 2006 y tiene un caudal de diseño de $5,500 \text{ m}^3/\text{día}$. El sistema de depuración aplicado es de fango activo con un tratamiento terciario por ultravioleta. (ESAMUR, 2010) (Foto 1).



Figura 3. Ubicación de la Región de Murcia. Ubicación de las diferentes plantas depuradoras de la Región de Murcia (círculos azules). Parcela experimental en las instalaciones de la depuradora Roldán-Balsicas (círculo rojo), Murcia, España.



Foto 1. Vista aérea de la depuradora Roldán-Balsicas junto con la batería de invernaderos experimentales en su interior.

El 7 de enero, se plantaron plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv Tirade) bajo condiciones de invernadero, para determinar el efecto en el cultivo de diferentes tipos de agua de riego y medios de cultivo. Se plantaron en dos medios de cultivo diferente, lana de roca (LR) y fibra de coco (FC) y dos tipos de agua de riego, agua procedente de la Comunidad de Regantes del Campo de Cartagena (AC), la cuál es una mezcla de agua del trasvase Tajo-Segura y agua de pozo, y agua regenerada procedente de la depuradora de Roldán-Balsicas (AD). El agua se aplicó mediante riego por goteo con 3 goteros autocompensantes de 3 L h^{-1} por saco y separados 0.3 m. Un total de 1080 plantas se distribuyeron en los 680 m^2 de la superficie del invernadero (Foto 2). Por lo tanto, un total de 4 tratamientos con tres replicas por tratamiento, se distribuyeron completamente al azar. Los tratamientos quedaron de la siguiente manera: T1 (AC-FC), T2 (AC-LR), T3 (AD-FC) y T4 (AD-LR). Cada réplica consistió en 45 plantas, usándose las 15 plantas centrales (5 sacos) para el muestreo periódico.



Foto 2. Vista del cultivo del tomate a los 3 meses de su plantación.

3.2 Manejo de las condiciones climáticas y del fertirriego:

La parcela experimental está equipada con un invernadero con una longitud de 38.4m, y una anchura de 18m de polietileno con ventilación tipo mariposa y un cabezal de riego independiente (Foto 3), desde el cual se maneja el control climático y aplicación del fertirriego. Los datos climáticos fueron obtenidos mediante la estación agroclimática propia situada en la parte superior del invernadero y estos datos fueron contrarrestados con los facilitados por el servicio de información agraria de Murcia (SIAM). La cantidad de agua aplicada se midió mediante contadores volumétricos instalados a pie de invernadero.



Foto 3. Vista de la parcela experimental con el invernadero y el cabezal de riego.

El cabezal de riego posee 6 cubas de fertilizantes, 2 cubas para almacén de las aguas de riego y 3 cubas para la preparación de la solución nutritiva (Foto 4). El control del fertirriego se realiza con un programador automático NUTRITEC[®]. Las variables climáticas como humedad relativa (HR) y temperatura (T^a), se controlan mediante una red de sensores tanto dentro como fuera del invernadero (estación meteorológica). Dicha estación recoge los valores de: velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar y lluvia. El registro de dichos parámetros se realiza en la computadora a través del programa CLINVERTEC[®], el cuál permite la programación controlando: la apertura y cierre de las ventanas en función de la T^a , HR y velocidad del viento, el sistema de calefacción, el sistema de nebulización en función de la HR y a través del sistema HUFITEC[®], y la pantalla térmica según la T^a y radiación solar.

La programación del fertirriego, fue programada semanalmente teniendo en cuenta los datos climáticos registrados, el estado fenológico de la planta y el volumen de drenaje recogido. Durante todo el periodo se ajustó la solución nutritiva en función de la concentración de nutrientes de cada agua de riego, manteniendo en la solución final una $CE \geq 2 \text{ dS m}^{-1}$ y un pH de 5.5 y un volumen de drenaje entre un 25-35%.



Foto 4. Cabezal de riego. Detalle del sistema CLINVERTEC® y del esquema interior del cabezal.



Figura 4. Disposición aleatoria de los cuatro tratamientos dentro del invernadero en el cultivo de tomate, con tres repeticiones por tratamiento: el color amarillo-marrón representa el tratamiento T1 (AC-FC), el amarillo-naranja T2 (AC-LR), el verde-marrón T3 (AD-FC) y el verde-naranja T4 (AD-LR).

Durante el ciclo del cultivo (7 enero – 28 agosto), la T^a exterior media recogida fue de 20.3 °C, oscilando entre 11.4 y 28 °C, la HR media fue de 59% oscilando entre 31 y 88.6 %. En el interior del invernadero, se registraron temperaturas máximas de 29.1 °C y mínimas de 15 °C, la HR osciló entre 97 y 55.4% siendo la media de 78%. La solución nutritiva aplicada en términos de N₂ - P₂O₅ - K₂O (mmol l⁻¹) osciló entre 10-1.5 - 5.5 aplicada al inicio del cultivo (7/01/2013) y 14 - 1.5 - 6 en la fase final (28/08/2013).

3.3 Análisis del agua:

Mensualmente se recogieron tres muestras de agua de riego de cada tipo entre Enero y Agosto de 2013 para caracterizar la calidad del agua de riego. Las muestras se recogieron en botellas de vidrio estériles, fueron transportadas directamente al laboratorio y almacenadas a 5 ° C antes de ser procesadas. Las concentraciones de los macronutrientes (Na, K, Ca, Mg), micronutrientes (Fe, B, Mn) y metales pesados (Ni, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) se determinaron mediante espectroscopia de emisión de plasma acoplada (ICP-OES ICAP 6500 Duo Thermo, Inglaterra), los aniones (cloruros, nitratos, fosfatos y sulfatos) fueron analizados por cromatografía de intercambio iónico (Metrohm, Suiza), el pH con un pHmetro modelo Crison-507 (Crisom Instruments S.A. Barcelona, España), la conductividad eléctrica (CE) y los sólidos disueltos totales (STD) con un equipo multirango modelo Crison-HI8734 (Crisom Instruments S.A. Barcelona, España), la turbidez fue medida con un turbidímetro Dinko D-110 (Dinko Instrumets S.A. Barcelona, España) (Foto 5).

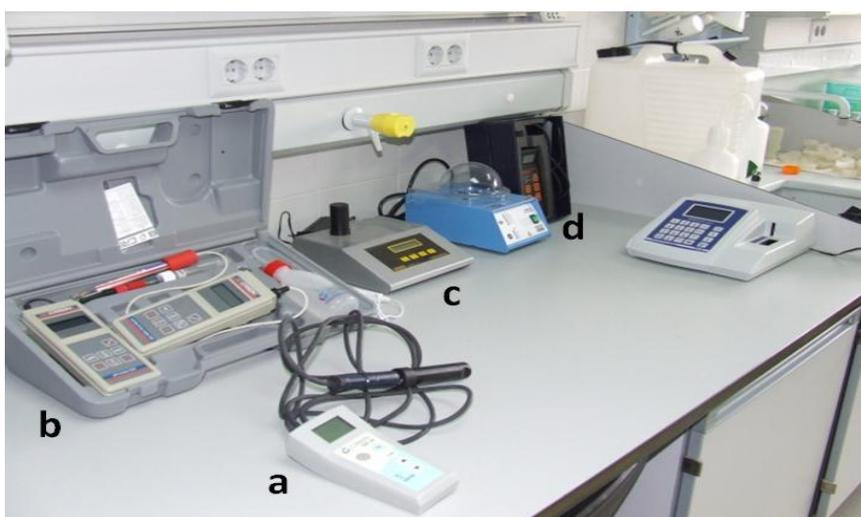


Foto 5. Equipos para la evaluación de la calidad del agua: a) medidor de oxígeno disuelto, b) pH-metro, c) turbidímetro y d) equipo multi-rango, conductividad eléctrica (CE) y sólidos totales, disueltos (STD).

La calidad microbiológica del agua de riego fue determinada por el número total de coliformes fecales y *E. coli* presentes en un volumen de 100 mL. Las muestras fueron filtradas con un sistema a vacío a través de un filtro de membrana estéril de 0,45 µm de tamaño de poro (Millipore, Billerica, EE.UU). La formación de colonias tuvo lugar en la parte superior de las placas con agar Chromocult (Merk, Darmstadt, Alemania) durante 24 horas. Las temperaturas de incubación fueron 37°C para *E. coli* y 44,5°C para coliformes fecales. Los recuentos microbianos se expresaron como log ufc/mL. Los huevos de helminto fueron medidos mediante el método de Bailenger (1979).



Foto 6. Sistema de filtración por membranas que se utiliza para la determinación de *E. Coli* y Coliformes Fecales

3.4 Análisis foliar. Estado hídrico e intercambio gaseoso:

Se realizaron dos análisis foliares a lo largo del ciclo fenológico, el primero el 10/04/2013 y el segundo en 28/08/2013. Se tomaron veinte hojas de muestra de cada repetición por tratamiento, de plantas aleatorias. Para la preparación de la muestra, se lavaron con detergente (Alconox 0,1%) y agua corriente, posteriormente se limpiaron con una solución de HCl al 0,005% y finalmente fueron lavadas con agua destilada; se escurrieron al aire en un filtro de papel y se secaron en un horno durante dos días a 65°C. Se molieron las hojas una vez secas y se procedió a su disolución con ácido nítrico y perclórico (2:1) (Thomson, 1982), otra parte de la muestra (0,25g) se disolvió en agua regia HCl/HNO₃. La concentración de macro-elementos, oligoelementos y metales pesados se determinaron por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-ICAP

6500 DUO Thermo, Inglaterra). Los aniones fueron analizados mediante cromatografía iónica con un cromatógrafo Metrohm (Suiza) después de usar una proporción de disolución patrón de 1:2,5 (w:w).

El potencial de tallo (Ψ_{tallo}), se midió a partir del tercer mes desde la fecha de plantación con una periodicidad quincenal durante toda la temporada en tres plantas de cada repetición, es decir, nueve plantas por tratamiento (Foto 6). En cada planta las medidas se realizaron en una hoja madura cercana al tronco. Las hojas se cubrieron con una bolsa de papel de aluminio, por lo menos dos horas antes de su medición (McCutchan y Shackel 1992). El potencial de tallo se midió al mediodía solar (12:00 h GMT), utilizando una cámara de presión: modelo 3000, Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, California, EEUU, y siguiendo las recomendaciones de Turner (1988).



Foto 7. Equipo de medida del potencial de tallo, utilizando una cámara de presión: modelo 3000, Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, California, EEUU

La tasa neta de asimilación de CO_2 (P_n) y la conductancia estomática (g_s) se midieron con un equipo de fotosíntesis portátil: Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, EE.UU (Foto 8). Se realizaron medidas de intercambio gaseoso quincenalmente durante todo el periodo fenológico a partir del tercer mes, entre las horas 08:00-10:00 h GMT, en días claros. Las mediciones se realizaron en dieciocho hojas sanas y maduras por tratamiento (dos hojas por planta, nueve plantas por tratamiento), expuestas al sol, en las posiciones cubierta exterior y en el tercio medio de la planta.



Foto 8. Equipo de fotosíntesis portátil: Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, EE.UU.

El crecimiento de la planta y el grosor de tallo se midieron semanalmente hasta el quinto mes de plantación, en quince plantas por repetición, es decir, cuarenta y cinco plantas por tratamiento. La medida se realizó con una cinta métrica y señalando con cinta la medida de la semana anterior.

3.5 Producción, calidad y seguridad del fruto:

El rendimiento fue evaluado en cuarenta y cinco plantas por tratamiento. En cada planta, se realizaron las siguientes mediciones: número de frutos por planta, Kg. totales y la distribución en diámetros comerciales utilizando la siguiente clasificación MM (47-57 mm) M(57-67 mm), G (67-87 mm), GG (87-102 mm), GGG (> 102 MM), (UNECE, 2009) (Foto 9).



Foto 9. Recolección de las plantas de tomate seleccionadas

El uso eficiente del agua (UEA) se calculó para cada tratamiento como la relación entre el rendimiento anual y el agua aplicada durante el mismo período en Kg/m^3 y A/g s (Kijne y col., 2003). La calidad del fruto se midió en 100 frutos por tratamiento. Los parámetros medidos fueron: el peso, el tamaño, la firmeza (Durofel DFT 100 penetrómetro, France) y el color (Konica Minolta Sensing CR-10 colorímetro, Singapore). Una muestra de 50 ml de zumo por tratamiento se utilizó para medir otros parámetros de calidad, como la acidez titulable (AT) y el pH (Metrohm 785 DMP Titrimo + automatic sample changer Metrohm 760, Switzerland) y el contenido de sólidos solubles (CSS) (Atago MASTER-TRefractometer, USA). Estos parámetros fueron determinados mediante una valoración de 10 mL de zumo con 0,1 mol/L de NaOH a pH 8.1. El índice de madurez se calculó como la relación entre la CSS y la AT (CSS/AT).

Por último, se realizaron análisis microbiológicos en fruto para analizar la seguridad del riego con aguas regeneradas en cultivo hidropónico. Para ello se tomaron muestras de piel y pulpa de veinte frutos por tratamiento. Cada muestra estaba formada por tres discos de piel de cada fruto. Las muestras fueron puestas en un frasco de 250 ml que contenía 50 ml de 0.1% solución peptonada estéril (BPW, AES Laboratoire, Combourg, France). El frasco se agitó vigorosamente durante 5 min. con el agitador IKA-VIBRAX-VXR. La solución limpiadora de peptone, fué diluida en peptone estéril 0.1% y puesta en el medio adecuado. Una vez preparada la muestra, la metodología de la siembra y el recuento de E.coli, se realizó como en los análisis de agua descritos anteriormente.

3. Resultados y discusión:

3.1 Cantidad de agua aplicada y ahorro de fertilizantes:

Los consumos de agua de riego ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) fueron los siguientes, T1: 17,370, T2: 17,227, T3: 16,566 y T4: 17,000. Estos datos se corresponden con los consumos de agua típicos del cultivo de tomate de ciclo largo bajo invernadero en dichas condiciones climáticas (Gallardo y col., 2007). La uniformidad del agua de riego aplicada entre tratamientos, varió entre un 80% en T4 y un 84% en T1. Esta variabilidad en AD con una menor uniformidad de emisión, se corrobora con estudios previos realizados en riego con aguas regeneradas (De Pascale y col., 2003; Liu y col., 2010; Cirelli y col., 2012)

Con respecto a la aplicación de fertilizantes, la mayor concentración de nutrientes en AD con respecto a AC, supuso un ahorro de fertilizantes representativo. Al realizar el cálculo en Kg por ha aplicados (N - P_2O_5 - K_2O - CaO), se observó un ahorro en fertilizante en FC de AD con respecto a AC de 7 - 6.3 - 9.7 - 40 %, en LR el ahorro fue algo menor aunque igualmente significativo (5.4 - 4.6 - 8 - 40.5 %) (Figura 5). Considerando los precios de mercado de los fertilizantes a lo largo de la experiencia, en términos económicos supuso un ahorro de alrededor de 140 € N ha^{-1} , 60 € $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ha}^{-1}$, 270 € K_2O y 455 € CaO para FC y 185 € N ha^{-1} , 128 € $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ha}^{-1}$, 400 € K_2O y 484 € CaO para LR. Estos ahorros de fertilizantes son referidos por otros autores en ensayos realizados en España, tanto en cultivos hortícolas como frutales. Estudios realizados en melón (*Cucumis melo* L.) cv. Galia en suelo arenoso bajo invernadero, mostraron un efecto positivo en el ahorro de fertilizante ya que la aplicación de N y K se redujo en un 40.8 y 17.8% (Segura y col., 2001; Martínez y col., 2012), igualmente pasó en un estudio hecho en mandarina durante 4 años en Campotejar (Murcia), donde el tratamiento con agua regenerada cubrió el 24% y 15% de los requerimientos de N y P respectivamente y todas las necesidades de K (Pedrero y col., 2012). Por lo tanto, la concentración de macronutrientes en las aguas regeneradas puede significar una reducción importante en la aplicación de fertilizantes, como es recomendado por diversos autores (USEPA 2004; Lazarova and Bahri 2005).

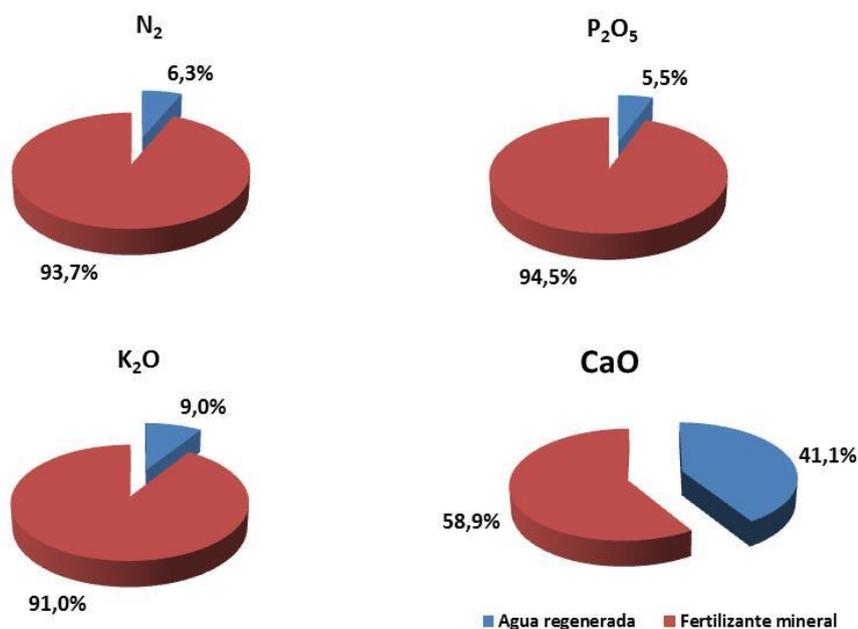


Figura 5. Ahorro de fertilizantes, calculados en Kg por ha aplicados (N - P₂O₅ - K₂O - CaO) entre las dos fuentes de agua de riego, AD (agua regenerada) y AC (agua de la Comunidad de Regantes)

3.2 Calidad del agua de riego:

La principal característica de las Comunidades de Regantes en la agricultura de regadío de la Región de Murcia es la mezcla de diferentes recursos hídricos para lograr completar las necesidades hídricas totales, por lo tanto las variaciones en la calidad del agua de riego son representativas del riego en la Región de Murcia (Pedrero, 2011). La calidad del agua resultante de AC procedente de la mezcla de diferentes fuentes de agua (transvase Tajo-Segura y aguas subterráneas) mantuvo una calidad muy uniforme a lo largo de la experiencia (Tabla 2). La calidad del agua de riego fue diferente entre cada fuente de agua. AD presentó los mayores valores de salinidad y sodicidad, con valores de conductividad eléctrica (CE) alrededor de 1.5 dS m⁻¹ y relación de adsorción de sodio (RAS) en torno a 3.3 (Tabla 2), mientras que para AC los valores de CE y RAS fueron más bajos, cerca de 1 dS m⁻¹ y 1.8, respectivamente (Tabla 2). Ambas aguas de riego no presentaron riesgo de salinidad, ya que los valores se mantuvieron en el rango aceptables según la FAO (Pescod, 1992). Estudios a corto plazo sobre el efecto de las aguas regeneradas en el suelo, han demostrado el no tener un impacto salino (Pedrero y col., 2009; 2012), incluso en la acumulación de metales pesados (Abedi-Koupai y col., 2006), pero estudios a largo plazo, han demostrado el incremento de la salinidad del suelo, después de aplicarla en suelo agrícola (Pereira y col. 2011).

Aunque la experiencia se desarrolle en sustrato inerte, los drenajes producidos por el mismo, pueden producir una acumulación de ciertos elementos y de la salinidad del agua, por lo tanto, en el manejo de estas agua en el riego, es necesario una intensiva monitorización para evitar los efectos negativos en planta y suelo (Qian y Mecham, 2005; Pedrero y col., 2012). La RAS se estimó considerando las concentraciones medias de Na, Ca y Mg (Asano y col., 2007). En general, se observó que AD tuvo una concentración significativamente mayor de Na y cloruros que AC (Tabla 2). La mayor concentración de Na en AD, produjo una mayor RAS aunque no hay problema potencial de infiltración en el suelo (Ayers y Wescot, 1985).

Durante todo el periodo experimental, la concentración de B en AD y AC se encontró en niveles de fitotoxicidad muy bajos (<0.5 ppm) para los cultivos semi-tolerante, como es considerado el Tomate (Mass, 1993) (Tabla 2). La toxicidad del Boro es preocupante en ambientes áridos y semiáridos (Nicholaichuk y col., 1988) como la Región de Murcia, donde existen más problemas de salinidad.

Tabla 2. Media durante ocho meses de los indicadores de calidad del agua de riego: conductividad eléctrica, CE, dS m^{-1} , relación de absorción de sodio, RAS, y composiciones químicas: B, K, Na, P, NO_3^- y Cl^- en mg L^{-1} , de las dos fuentes de agua de riego: AD, agua regenerada y AC, agua de la Comunidad de Regantes. Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con $\text{LSD}_{0.05}$.

	AC	AD
EC	1,18±0,08 a	1,57±0,15 b
RAS	1,89±0,44 a	3,3±0,27 b
pH	8,08±0,24 a	7,65±0,37 a
Turbidez	3,91±0,97 a	5,33±2,81 ab
B	0,14±0,05 a	0,24±0,05 b
K	8,06±2,82 a	26,63±4,21 b
Na	88,95±19,55 a	168,52±11,52 b
P	1,89±0,9 a	2,75±0,57 b
Cl^-	124,84±17,73 a	187,03±8,32 b
NO_3^-	6,58±3,65 a	14,18±6,11 b
Colif. Fecales (UFC/100 ml)	1452,5±38,88 a	2204,75±490,59 b
E.coli (UFC/100 ml)	1,31±0,25 a	170,44± 8,23 b

La concentración de metales pesados (Co, Ni, Pb, Cr, Zn y Cd), están por debajo de los límites de toxicidad ($<0.05 \text{ mg L}^{-1}$, $<0.20 \text{ mg L}^{-1}$, $<5 \text{ mg L}^{-1}$, $<0.10 \text{ mg L}^{-1}$, $<2 \text{ mg L}^{-1}$ y 0.01 mg L^{-1} , respectivamente), de acuerdo con Ayers and Westcot (1985). Con respecto a la calidad microbiológica, los huevos de helminto (no presentes) y la concentración de E.coli, estuvieron siempre por debajo de los límites establecidos por el RD 1620/2007, el cuál regula el uso de las aguas regeneradas en España, en la calidad 2.3 donde se enmarca el riego por goteo de tomate bajo invernadero ($<10 \text{ huevos} \cdot 10 \text{ L}^{-1}$ y $< 10,000 \text{ UFC } 100 \text{ mL}^{-1}$). Estos resultados están en concordancia con estudios previos realizados en Murcia (ESAMUR, 2009), los cuales concluyeron que en los 43 efluentes de depuradoras analizados, hubo ausencia de huevos de nematodo en el 79% de las muestras de agua que recibieron un tratamiento secundario y ausencia total en las que recibieron un tratamiento terciario.

Por lo tanto, en este estudio, se muestra la seguridad microbiológico del riego con aguas regeneradas que hayan recibido un tratamiento terciario, corroborado con estudios previos realizados en los que se demuestra que las aguas regeneradas son tan seguras y adecuadas para el riego como cualquier otra fuente de agua (York y col.,2008) Estudios realizados en maceta bajo invernadero de tomate (*Lycopersicum Esculentum* mil Mountain Spring F1 hybrid) y pimiento (*Cucumis Sativus* L), mostraron que el uso de agua de riego no desinfectada, no probó el ser completamente segura (Manios y col., 2006). Existieron momentos a lo largo del periodo experimental donde se encontraron pequeñas contaminaciones puntuales (datos no mostrados). Estas contaminaciones puntuales respaldan la necesidad de realizar análisis microbiológicos con regular periodicidad en los suministros de agua de riego, independientemente de la fuente de agua considerada, para minimizar los impactos negativos en la salud pública (OMS, 2004).

3.3 Relaciones planta-agua:

A partir del primer corte (Mayo) existe una disminución del EI Ψ_{tallo} mas acusada en los tratamientos de LR (T2 y T3), llegando a valores de -0.6 MPa. Tras los sucesivos cortes semanales se observó una recuperación llegando a igualarse los tratamientos al final del cultivo, situándose en torno a -0.5 MPa (Figura 6).

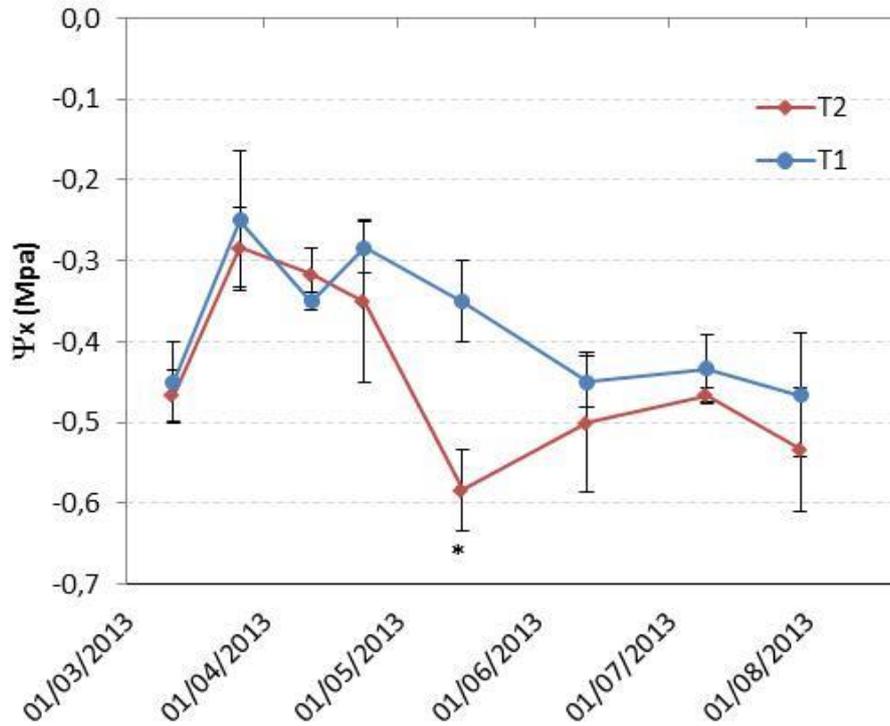


Figura 6. Evolución del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) durante el periodo de ensayo. Cada punto es el promedio de medición de nueve medidas. Cada tratamiento está representado con un color, T1 (AC-FC), color azul y T2 (AC-LR), color rojo. * Indica diferencias significativas según LSD 0.05.

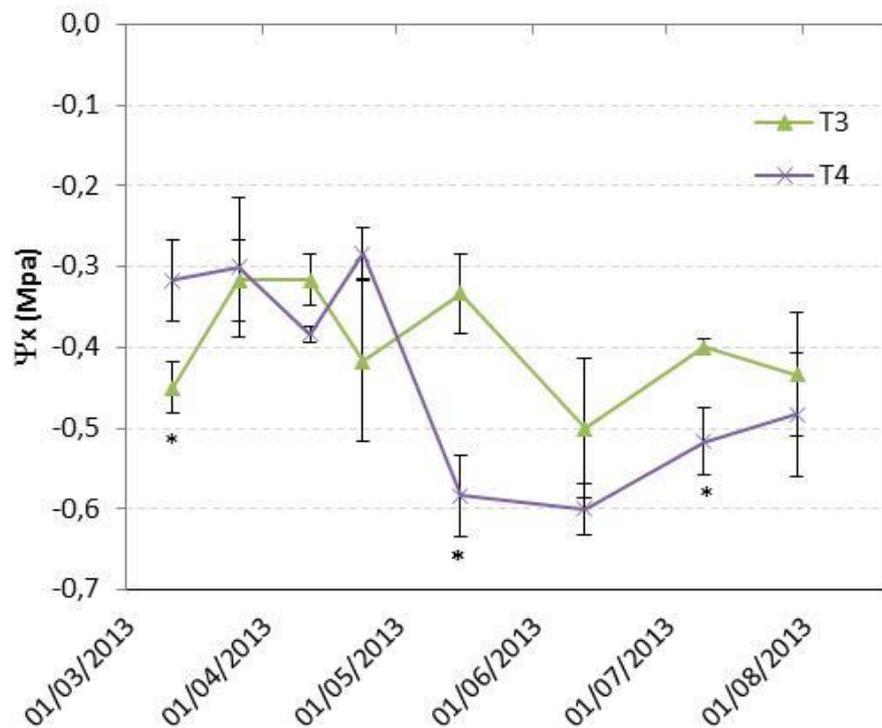


Figura 7. Evolución del potencial hídrico de tallo (Ψ_{tallo}) durante el periodo de ensayo. Cada punto es el promedio de medición de nueve medidas. Cada tratamiento está representado con un color, T3 (AD-FC), color verde y T4 (AD-LR), color púrpura. * Indica diferencias significativas según LSD_{0.05}.

Con respecto a la Pn, se observó un descenso de todos los tratamientos tras el primer corte con valores de $15 \mu\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 8, 9), posteriormente se produjo una recuperación hasta julio y para finalmente producirse un descenso continuo de la tasa fotosintética, encontrándose los valores menores en los tratamientos de FC (T1 y T4) existiendo diferencias significativas entre sustratos, no entre tipos de agua de riego (Figura 8, 9). Con respecto a la g_s , no hubieron diferencias significativas entre tratamientos, excepto antes del primer corte donde T1 alcanzó valores superiores ($450 \mu\text{mol (H}_2\text{O) m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Figura 8) que se corresponden con un menor potencial hídrico, es decir, con un ligero estrés hídrico (Figura 6).

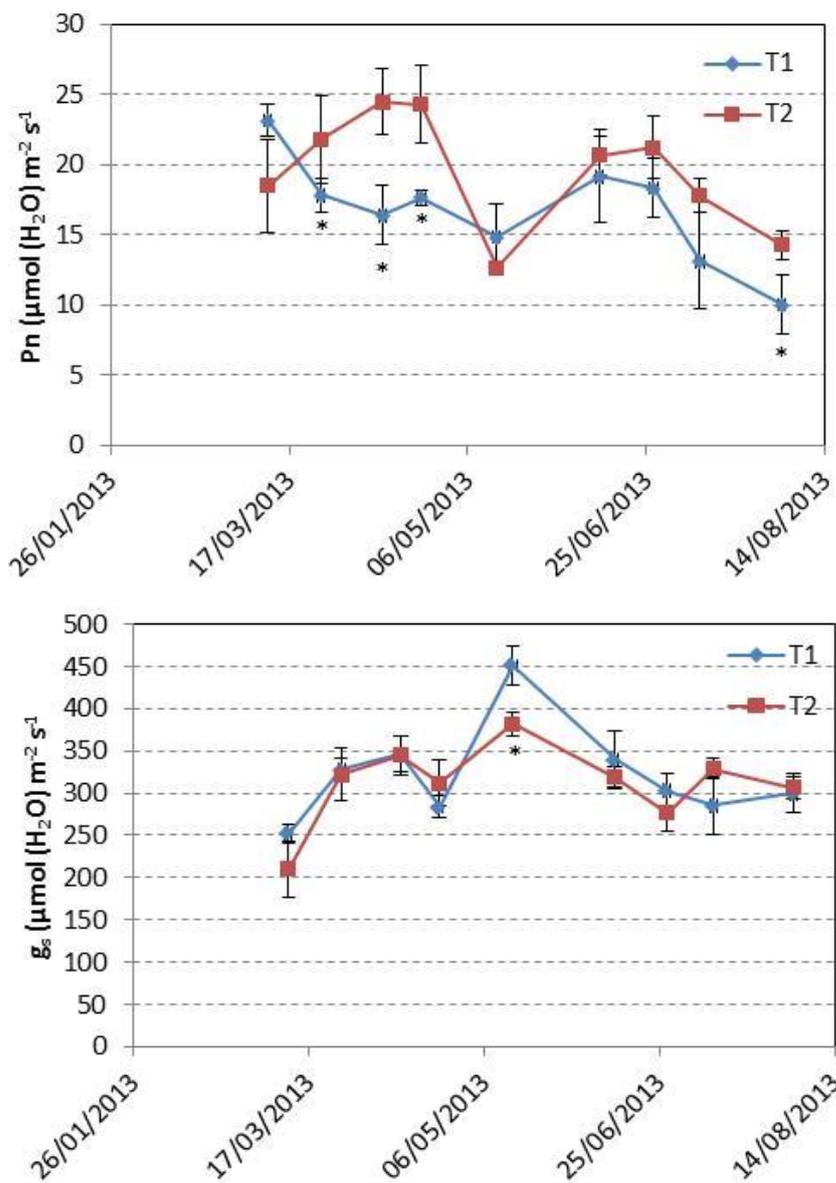


Figura 8. Tasa neta de asimilación de CO_2 (Pn) y la conductancia estomática al vapor de agua (g_s) durante la experiencia. Cada tratamiento está representado con un color, T1 (AC-FC), color azul y T2 (AC-LR), color rojo. * Indica diferencias significativas según $\text{LSD}_{0.05}$.

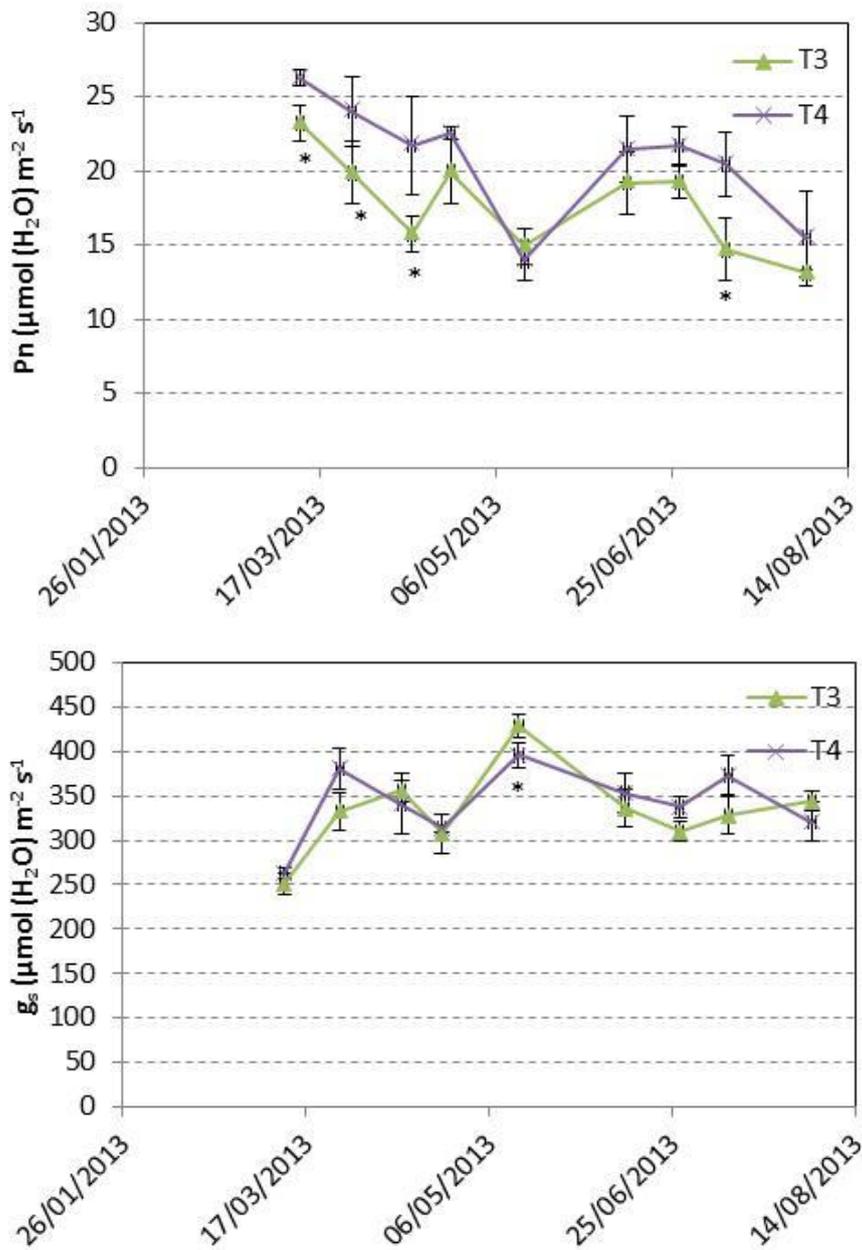


Figura 9. Tasa neta de asimilación de CO_2 (Pn) y la conductancia estomática al vapor de agua (g_s) durante la experiencia. Cada tratamiento está representado con un color, T3 (AD-FC), color verde y T4 (AD-LR), color púrpura. * Indica diferencias significativas según $\text{LSD}_{0.05}$.

Las escasas diferencias encontradas en las relaciones hídricas, pueden deberse a dos factores, en primer lugar las condiciones de no déficit hídrico, ya que está documentado que en condiciones de sequía, las plantas se tornan menos eficientes en el uso del agua (Flexas y col.,2004), y en segundo lugar, la escasa salinidad existente en ambas aguas de riego, ya que los estudios que existen tanto en tomate (Romero-Aranda y col. 2001; Malash y col., 2008) como en otras especies (Levy y Syversen,

2004), coinciden en que es el riego con aguas salinas el que produce una reducción en la asimilación de CO₂ por la planta, lo que desencadena una reducción en el crecimiento y transporte de nutrientes en las plantas.

En términos de Uso Eficiente del Agua (UEA), entendido como P_n / g_s , los tratamientos de LR (T2 y T4) obtuvieron los valores mas altos, con diferencias significativas sobre FC (Tabla 3). Estudios recientes realizados de la UEA del tomate en condiciones de cultivo que van desde campo a túnel de plástico, invernadero, o cultivo en atmósfera controlada, muestran variaciones mucho más amplias (desde 15 a 60 litros de agua por Kg. de producto fresco) (Stranhellini, 2005) que resultan muy ilustrativas del rango de variación de este parámetro y también de las posibilidades de optimización del consumo de agua por las plantas. En vegetación natural, se registran asimismo variaciones importantes en función de la localización, la estación de año y el tipo de suelo (Medrano y col., 2007).

3.4 Análisis foliar:

La evolución del contenido en hoja de nitrógeno, fósforo, carbono, calcio y magnesio se mantuvieron en los rangos normales establecidos para este cultivo en condiciones similares (Casas y Casas, 1999). Los niveles de potasio estuvieron bajos durante todo el ciclo (< 3.3%) (Casas y Casas, 1999) en todos los tratamientos, aunque al final del ciclo especialmente en los tratamientos de AD (1.6%), pese a la mayor concentración de potasio que posee el agua regenerada (Figura 10). Al observarse que pese a la mayor concentración de sodio y cloruros en AD con respecto a AC, no se vio reflejada en las concentraciones de dichos elementos en hoja a niveles fitotóxicos (sodio < 0.3% y cloruros < 0.5 %), cabría la hipótesis que según varios autores, algunos elementos presentes en mayor cantidad en las aguas regeneradas como el calcio y el potasio, son efectivos en la reducción del transporte de sodio y cloruros desde la raíz a la hoja (Bar-Tal y col.,1991; Zekri, 1993, b; Zekri and Parsons, 1990; Zid and Grignon, 1985; Zekri and Parsons, 1992).

La toxicidad en boro es uno de los principales problemas del uso del agua regenerada para riego de cultivos, sobre todo en áreas semi-áridas (Pedrero y col., 2010). En numerosos estudios se ha demostrado que el exceso de boro reduce el crecimiento de los árboles y la productividad, y favorece la defoliación y el daño foliar (Chapman, 1968). Durante la experiencia, se vió una ligera acumulación de B al final del ciclo del cultivo en todos los tratamientos, especialmente en LR tanto en AC como AD. Al final del ciclo de cultivo, se obtuvieron concentraciones cercanas a los 80 mg kg⁻¹, sin alcanzar los límites establecidos como fitotóxicos (115 mg kg⁻¹) (Casas y

Casas, 1999) (Figura 11) para cultivos semitolerantes como es considerado el tomate (Mass, 1993). Por lo tanto, aunque no se observaron síntomas visibles de toxicidad en hoja, al igual que estudios similares realizados en cultivos hortícolas (Suay y col., 2013), estos datos corroboran la importancia del boro en las aguas regeneradas de la Región de Murcia y lo señalan como un elemento importante a tener en cuenta en el uso de estas aguas en la agricultura (Pedrero y col., 2012)

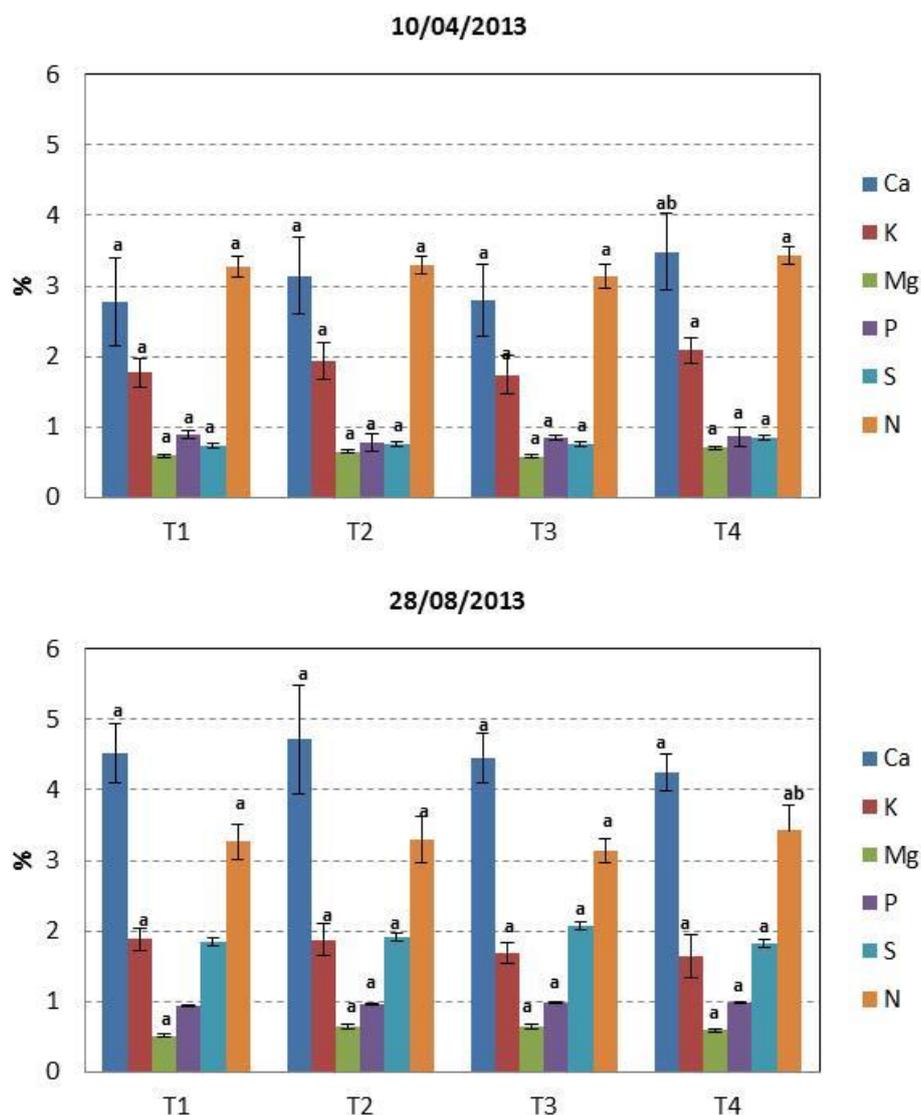


Figura 10. Concentración media de macroelementos al comienzo (10/04/2013) y final de la experiencia (28/08/2013). Las columnas azul oscuro representan cantidades de calcio (Ca), las columnas azul claro cantidad de azufre (S), el color naranja indica cantidad de nitrógeno (N), el color verde de las columnas representa cantidades de magnesio (Mg), y las de color violeta cantidades de fósforo (P), presentes en los cuatro tratamientos aplicados T1, T2, T3, T4, para los dos tipos de agua AD (agua de la depuradora) y AC (agua de la Comunidad de Regantes). Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con $LSD_{0.05}$.

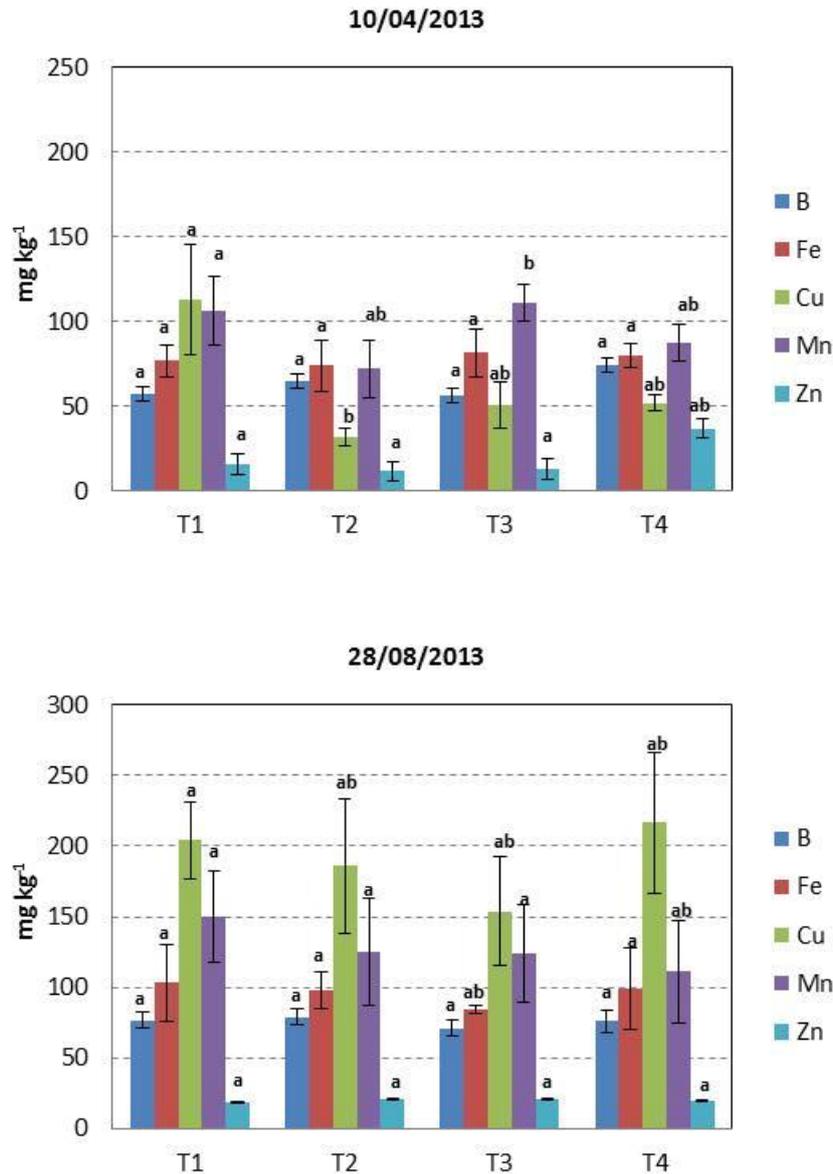


Figura 11. Concentración media de microelementos al comienzo (10/04/2013) y final de la experiencia (28/08/2013). Las columnas azules claros representan cantidades de B (boro), las columnas verdes cantidades de Cu (cobre), los granates cantidades de Fe hierro, las violetas cantidades de manganeso (Mg), determinados en AD, agua regenerada y AC agua de la Comunidad de Regantes, para todos los tratamientos aplicados :T1, T2, T3, T4 . Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con LSD_{0.05}.

3.5 Crecimiento vegetativo, producción y calidad del fruto:

Con respecto al crecimiento del cultivo durante los primeros cinco meses, no hubo diferencia significativa entre tratamientos, el crecimiento se mantuvo entre los 20 y 22 cm y el grosor de tallo entre 12 y 15 cm semanales. Estudios similares obtuvieron una mayor diferencia en el crecimiento, pero con factores en las aguas regeneradas como es una mayor salinidad (Romero-Aranda y col., 2001) o una mayor diferencia de

concentración de nutrientes debido a un menor tratamiento de las mismas (Manios y col., 2006). En los datos de producción, se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos. T1 obtuvo la mayor producción con cerca de 8 Kg por planta y T4 la menor con alrededor de 7 Kg por planta (Tabla 4).

Aunque existe una ligera mayor producción en los tratamientos de FC (T1 y T3), no se ve una diferencia clara entre tipos de agua y medio de cultivo. Algunos autores han mostrado un incremento en la producción de diversos cultivos hortícolas regados con aguas regeneradas (Manios y col., 2006; Cirelli y col., 2012; Martínez y col., 2012; Al-Lahham y col., 2003), en nuestro caso puede deberse al hecho de que en ambas aguas de riego, la solución nutritiva fue ajustada a las necesidades del cultivo mediante el aporte de fertilizantes minerales y también porque las conductividades eléctricas de ambas aguas no afectaron a la producción debido a la tolerancia del mismo. Con respecto al calibre de frutos comerciales, considerando en esta variedad a partir de G como comercial, todos los tratamientos se movieron entre 53.4 y 57.9 % de dicho calibre, excepto T4, cuyo mayor número de frutos obtenido se vio reflejado en un mayor porcentaje del calibre M (30.1 %).

Este aumento de frutos no comerciales puede deberse a un aumento observado en los últimos cortes de blossom-end rot (BER) (dato no cuantificado), como se ha observado en estudios similares (Aiello y col., 2008; Cirelli y col., 2012; Traka-mavrona y col., 1993). La aparición de los síntomas de BER, está relacionada con escasez de agua y calcio (Ho y col., 1993; Marcelis and Ho, 1999). En esta experiencia, puede deberse a un desorden nutricional en AD, debido a la interacción de diferentes elementos presentes en la composición del agua. Los tratamientos de FC (T1 y T3) obtuvieron valores de UEA (Kg m³) ligeramente superiores a los de LR (T2 y T4) (Tabla 3)

Tabla 3. Producción obtenida en Kg planta⁻¹, número de frutos obtenidos en el ensayo (45 plantas por tratamiento), el uso eficiente del agua para el cultivo de tomate y la optimización del consumo de agua por las plantas durante los meses del experimento desde enero-agosto, en los cuatro tratamientos, T1 (AC-FC), T2 (AC-LR), T3 (AD-FC), y T4 (AD-LR), aplicando las dos fuentes de agua de riego: AD, agua regenerada y AC, agua de la Comunidad de Regantes. Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con LSD_{0.05}.

Tratamientos	Producción	nº frutos	UEA (Kg m ⁻³)	UEA (A/gs)
AC-FC	7,98±2,47 a	3919±32 a	13,96±0,28 a	52,28±3,21 a
AC-LR	7,29±0,42 b	3448±74 b	12,87±0,15 b	63,00±2,54 b
AD-FC	7,35±2,01 ab	3417±102 b	13,49±0,62 a	53,93±3,66 a
AD-LR	7,12±2,40c	3801±88 ab	12,74±0,30 b	61,41±4,1 b

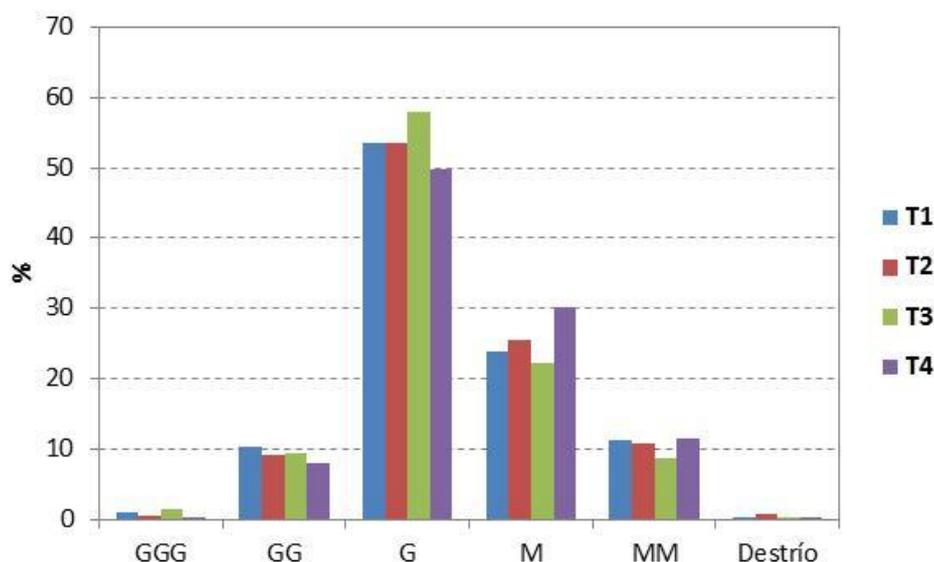


Figura 12. Distribución de los calibres comerciales obtenidos durante el experimento, para cada uno de los cuatro tratamientos aplicados. Las columnas azules representan los tratamientos T1 (AC-FC), la columna roja T2 (AC-LR), la verde T3 (AD-FC), y la púrpura, T4 (AD-LR).

Con respecto a la influencia del riego con aguas regeneradas en la calidad del fruto, no existe un criterio establecido para los diferentes cultivos. Varios estudios han mostrado un aumento de la calidad en ciertos parámetros (Pedrero 2010; Pedrero y col., 2011) y otros han mostrado una disminución o no influencia de dichas aguas en la calidad del fruto (Balibrea y col., 1997; Maurer y col., 1995; Al-Lahham y col., 2003). En este estudio, el valor de pH en fruto no se vio afectado ni por el tipo de agua de riego ni por el sustrato (Tabla 5), igualmente ocurrió en el estudio realizado por Al-Lahham y col. (2003). Los valores obtenidos estuvieron siempre en el rango de 4, típico en el fruto de tomate (Balibrea y col., 1997).

La CSS tampoco tuvo diferencias entre tratamientos (Tabla 5), al contrario que algunos autores que encontraron que los tratamientos con agua regeneradas disminuían el CSS (Al-Lahham y col., 2003; Maurer y col., 1995). Con respecto al índice de madurez y la firmeza, se obtuvieron diferencias significativas entre diferentes sustratos no entre aguas de riego (Tabla 5). Los tratamientos de LR (T2 y T4) obtuvieron mayores valores que los de FC (T1 y T3). Diversos autores han mostrado que los tratamientos regados con aguas regeneradas aumentaron el tamaño del fruto y disminuyeron la firmeza (Al-Lahham y col., 2003; Maurer y col., 1995), en nuestro caso el riego con agua regenerada no influyó en los parámetros de calidad del fruto analizados.

A nivel microbiológico en fruto, los resultados preliminares indican la no presencia de microorganismos patógenos (*E.coli* y *Listeria*), tanto en piel como en fruto, lo que corrobora la seguridad del riego por goteo de cultivos hortícolas en los que el agua no está en contacto con el fruto.

Tabla 4. Parámetros medios de calidad de la fruta. Firmeza (mm), pH , CSS, Acidez total (mg g⁻¹), índice de madurez., color (HUE), color (Chroma), aplicando los dos tipos de agua AD - agua regenerada, AC - agua de la Comunidad Regantes), para los cuatro tratamientos aplicados T1 (AC-FC), T2 (AC-LR), T3 (AD-FC), y T4 (AD-LR). Las letras en cada columna indican las diferencias significativas de acuerdo con LSD_{0.05}.

	AD-LR	AD-FC	AC-LR	AC-FC	
	4,63±0,09 a	4,55±0,21 a	4,65±0,09 a	4,47±0,14 a	pH
	6,28±0,39 a	5,98±0,40 a	6,07±0,31 a	6,37±0,42 a	CSS
	0,43±0,06 a	0,45±0,13 a	0,44±0,04 a	0,42±0,10 a	Acidez total
	14,67±0,22 c	13,4±0,26 ab	13,71±0,18 b	12,48±0,26 a	Índice de madurez
	81,32±8,67 b	74,7±6,85 a	81,55±6,78 b	73,85±6,07 a	Firmeza
	27,14±2,16 a	26,85±1,46 a	26,45±2,18 a	27,64±2,75 a	Color (HUE)
	44,87±3,67 a	47,67±8,05 a	48,77±9,85 a	46,62±7,83 a	Color (Chroma)

4. Conclusiones:

El uso de las aguas regeneradas en la agricultura ha demostrado ser un importante elemento en estrategias sobre el uso sostenible de los recursos hídricos superficiales, debido a su **potencial económico y beneficios medioambientales**. Aunque las aguas residuales depuradas han sido utilizadas desde décadas, es crucial, y todavía un desafío, adaptar su manejo en áreas específicas. La adaptación de regulaciones teniendo en cuenta las condiciones locales, debería incrementar los beneficios del uso de las aguas regeneradas y disminuir los riesgos sanitarios.

Este tipo de estudios sobre el uso de las aguas regeneradas en la agricultura, muestra como una planificación integrada donde se tenga en cuenta aspectos tecnológicos en el sistema de fertirriego al igual que aspectos sobre producción y contaminación, es fundamental para el riego seguro de cultivos hortícolas.

En áreas áridas y semi-áridas, el uso de aguas regeneradas para el riego, puede inducir problemas a largo plazo a causa de la acumulación de sales y boro. Son necesarios un adecuado manejo y la continua monitorización cuando se utilizan aguas regeneradas para el riego. **El mayor problema del agua regenerada en Murcia es la salinidad y la concentración de boro**. Aunque el agua regenerada utilizada en esta experiencia no represente un peligro para su uso agrícola a corto plazo.

Desde el punto de vista agronómico, el uso de las aguas regeneradas como aguas de riego bajo condiciones semiáridas, ha resultado con éxito al obtener producciones similares a las obtenidas con otros recursos hídricos. El uso de las aguas regeneradas para riego supone un **ahorro significativo de fertilizantes minerales** (N - P₂O₅ - K₂O - CaO). En este caso, en ambos sustratos, el agua regenerada con respecto al agua de la Comunidad de Regantes en FC de 7 - 6.3 - 9.7 - 40 % y en LR de 5.4 - 4.6 - 8 - 40.5 %.

De acuerdo con los medidas y análisis realizados en planta y fruto durante el ciclo de cultivo, se puede concluir que el uso de este agua regenerada para riego **es apta bajo prácticas agrícolas convencionales** (cultivo hidropónico, riego por goteo, invernadero de polietileno, etc...) y ofrece una **seguridad microbiológica** en su uso.

Entre los **parámetros de calidad**, **no se obtuvieron diferencias entre los tratamientos de AD y AC**, lo que indica el interés de continuar con estudios de este tipo para corroborar la mejora de ciertos parámetros de calidad en fruto al usar aguas regeneradas para el riego.

5. Bibliografía:

- Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M., Bagheri, M.R., 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. *Plant Soil Environment* 52(8), 335–344
- Acosta, A. Faz, B. Jansen, K. Kalbitz, S. Martínez-Martínez. Assessment of salinity status in intensively cultivated soils under semiarid climate, Murcia, SE Spain. *Journal of Arid Environments* 75 (2011) 1056-1066
- Acosta, J.A. Faz, A. Jansen, B. Kalbitz, K. Martínez-Martínez, S., 2011. Assessment of salinity status in intensively cultivated soils under semiarid climate, Murcia, SE Spain. *Journal of Arid Environments* 75, 1056-1066.
- Aiello, R., Barabagallo, S., Cirelli, G.L., Consoli, S., June 2008. Effects of constructed wetland effluent reuse on soil and vegetable crop. In: *Proceedings of the International Symposium on Sanitary and Environmental Engineering (SIDISA)*, Florence.
- Al-Lahham, O. El Assi, N.M. Fayyad M. (2003). Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agricultural Water Management* 61 51–62.
- Al-Lahhama, O., El Assib, N.M., Fayyadc M., 2003. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agricultural Water Management* 6, 51–62
- Angelakis, A. N., B. Durham. 2008. Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges. *Desalination*, 218 (2008): 3-8. Paper N° 13. Global Water Partnership, Stockholm.
- Asano, T., Metcalcaf & Eddy/Aecom 2007. *Water reuse: issues, technologies, and applications*, New York [etc.], McGraw-Hill.
- Ayers, R. S.; Westcot, D.W. 1985. *Water quality for agriculture*. FAO Irrigation and Drainage Paper 29. Rome (Reprinted, 1989, 1994).

- Bahri, A. 2009. Managing the other side of the water cycle: making wastewater an asset. TEC Background
- Bailenger, J. 1979. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. *J. Amer. Med. Tech.* 41:65-71.
- Balibrea, M.E., Cayuela, E., Artes, F., Alfocea, F.D., 1997. Salinity effects on some post harvest quality factors in commercial tomato hybrid. *J. Hort. Sci.* 72 (6), 885–892.
- Bar-Tal, A., Feigenbaum, S. and Sparks, D.L. 1991. Potassium-salinity interactions in irrigated corn. *Irrig. Sci.* 12: 27-35.
- Casas, A., Casas, E., 1999. Análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de cultivos. Instituto La Rural, Almeria
- Cirelli, G.L. Consoli, S. Licciardello, F. Aiello, R. Giuffrida, F. Leonardi. C., 2012. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. *Agricultural Water Management* 104 163– 170.
- Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (CARM), Estadística Agraria Regional. Available in: <http://www.carm.es/> [30 December, 2012].
- CTC, 2008. Estudio de la calidad de las aguas residuales depuradas procedentes de la industria de la conserva vegetal para su reutilización como agua de riego agrícola, Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación
- De Pascale, S., Ruggiero, C., Barbieri, G., 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 128 (1), 48–54.
- Emekli, N.; Kendirli, B.; Kurunc, A., 2010. Structural analysis and functional characteristics of greenhouses in the Mediterranean region of Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 9(21); pp. 3131-3139.
- Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (ESAMUR), 2009. V Jornadas Técnicas de Saneamiento y Depuración, Murcia, Spain.

Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (ESAMUR), 2010. V Jornadas Técnicas de Saneamiento y Depuración, Murcia, Spain.

Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (ESAMUR), Available in: <http://www.esamur.com/> [30 December, 2012].

Espí, E.; Salmerón, A. Fontecha, A; García, Y.; Real, A. I., 2006). Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film and Sheeting*, (22); pp. 85-101.

Flexas, J. Bota, J. Loreto, F. Coreiga, G., 2004: «Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants», en *Plant Biology*, vol. 6, págs. 269-279.

Galdeano, E. Aznar, J. A.; Pérez-Mesa, J. C., 2010: “Intensive Horticulture in Almeria (Spain): A Counterpoint to current European Rural Policy Strategies”; *Journal of Agrarian Change*, 11(2); pp. 241-261.

Gallardo, M; Fernández B; R.B. Thompson B.B; Magán., L., 2007. Productividad del agua en cultivos bajo invernadero en la costa mediterránea. *Vida Rural* nº 259: 48- 51.

Garg, V. K. & Kaushik, P., 2008. Influence of textile mill wastewater irrigation on growth of sorghum cultivars. *Applied Ecology and Environmental Research*, 6, 1

Ho, L.C., Belda, R., Brown, M., Andrews, J., Adams, P., 1993. Uptake and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. *J. Exp. Bot.* 259, 509–518.

Huibers, F. P., Seghezzo , L & Mels, S., 2006 Waster and irrigated agriculture possible Wastewater and irrigated agriculture : lessons learned and possible applications in Africa, Nairobi, African Technology Policy Studies Network.

Iglesia. Esteban , R. & Ortega de Muguiel, E., 2008. Present and future of wastewater reuse in Spain. *Desalination*, 218, 105-119.

Intrigliolo, D.S., Nicolas, E., Bonet, L., Ferrerc, P., Alarcón, J.J., Bartual, J., 2011. *Water*

- Jiménez, B., T. Asano (eds.) 2008a. Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. IWA Publishing, London.
- Jiménez, B., T. Asano. 2008b. Water reclamation and reuse around the world, Capítulo 1, in B. Jiménez and T. Asano (eds.), Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. IWA Publishing, London.
- Lazarova, V., and A. Bahri. 2008. "Water reuse practices for agriculture", Capítulo 10, in B. Jimenez and T. Asano (eds.), Water Reuse: An International Survey of current practice, issues and needs. IWAPublishing, London.
- Lazarova, V., Bahri, A., 2005. Irrigation with recycled water: agriculture, turfgrass and landscape. CRC Press, Catalogue no. L1649, Boca Raton, p 408.
- Levy, Y. and Syvertsen J.P., 2004. Irrigation water quality and salinity effects in citrus trees. Horticultural Reviews. 30: 37–82.
- Liu, M., Liu, X., Hao, J., Gao, L., 2010. Effect of simulated drought stress on plant growth, yield and fruit properties of tomato. Acta Horticulturae 856, 193–202.
- Maas, E.V., 1993. Salinity and citriculture. Tree Physiol. 12: 195-216.
- Malash, N. M. Flowers, T. J. Ragab, R., 2008. Effect of irrigation methods, management and salinity of irrigation water on tomato yield, soil moisture and salinity distribution. Irrig Sci 26:313–323
- Maniadakis, K. and Markakis, G., 2006. Evaluated of primary and secondary treated and disinfected wastewater irrigation of tomato and cucumber plants under greenhouse conditions, regarding growth and safety considerations. Wat. Environ. Res. 78: 797-804.
- Manios, T., Papagrigoriou, I., Daskalakis, G., Sabathianakis, I., Terzakis, S., Maniadakis, K. and Markakis, G., 2006. Evaluated of primary and secondary treated and disinfected wastewater irrigation of tomato and cucumber plants under greenhouse conditions, regarding growth and safety considerations. Wat. Environ. Res. 78: 797-804.

- Marcelis, L.F.M., Ho, L.C., 1999. Blossom-end rot in relation to growth rate and calcium content in fruits of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Exp. Bot.* 50, 357–363.
- Maurer, M.A., Davies, F.S., Graetz, D.A., 1995. Reclaimed wastewater irrigation and fertilization of mature “Redblush” grapefruit trees on spodosols in Florida. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 120 (3), 394–402.
- McCutchan, H. and Shackel, K.A., 1992. Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv French). *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117: 607–611.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J Ribas-Carbó M., Gulías J., 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones Geográficas*, nº 43 pp. 63-84
- Mujeriego, R. (ed.) 1990. *Manual Práctico de Riego con Agua Residual Municipal Regenerada*, Edicions de la Universitat Poletécnica de Catalunya, Barcelona (Traducción al español por Pettygrove and Asano, 1985).
- Nicholaichuk, W., Leyshon, A.J., Jame, Y.W. and Campbell, C.A. 1988. Boron and salinity survey of irrigation projects and the boron adsorption characteristics of some Saskatchewan soils. *Can. J. Soil Sci.* 68, 77-90.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas). *Reutilización del agua en la agricultura: ¿beneficios para todos?*. Rome ISBN: 978-92-5-306578-3
- Pardo, M. J., 2010. “Significado de implantación del control biológico para la comercialización de la producción”; *Cuadernos de Estudios Agroalimentarios*, (1); pp. 103-110.
- Pedrero, F. 2010. *Sustainable irrigation management with reclaimed water*. Doctoral Thesis. Departamento de Riego. Centro de Edafología y Biología aplicada al Segura. CEBAS-CSIC, Murcia, España. 143pp.
- Pedrero, F., Alarcón, J.J., 2009. Effects of treated wastewater irrigation on lemon trees. *Desalination*. 246: 631-639

- Pedrero, F., Mounzer, O., Alarcón, J.J., Bayona, J.M., Nicolás, E., 2012. The viability of irrigating mandarin trees with saline reclaimed water in a semi-arid Mediterranean region: a preliminary assessment. *Irrigation Science*. DOI 10.1007/s00271-012-0359-8
- Pereira, B.F.F., He, Z.L., Stoffella, P.J., Melfi, A.J., 2011. Reclaimed wastewater: Effects on citrus nutrition. *Agricultural Water Management* 98, 1828-1833
- Pescod, M. B. 1992. *Wastewater treatment and use in agriculture*, Rome, FAO.
- Pettygrove, G. S., T. Asano (eds.). 1985. *Irrigation with Reclaimed Municipal Wastewater: A Guidance Manual*. Lewis Publishers, Chelsea, Michigan (publicado originalmente bajo el mismo título en Report N° 84-1 por California State Water Resources Control Board, Sacramento, California, 1984).
- Qadir, M., Wikelns, D., Raschid-Sally, L., Mccornik, P. G., Drechl, P., Bahry, A. & Mihnas, P. S. 2010. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. *Agricultural Water Management*, 97, 561-568.
- Qian, Y. L. Mecham, B., 2005. Long-Term Effects of Recycled Wastewater Irrigation on Soil Chemical Properties on Golf Course Fairways. *Agronomy Journal* 97, 717–721
- Roberto García Torrente y Juan Carlos Pérez Mesa. *Invernaderos, Innovación para la productividad y el ambiente (Cajamar y Universidad de Almería) Cuaderno de estudios agroalimentarios DEJULIO 2012 | ISSN 2173-7568 | 07-22 |*
- Rodenas, M.A. and Albacete, M., 2012. The River Segura: Reclaimed Water, Recovered River. *Journal of Water Reuse and Desalination* (Accepted)
- Romero-Aranda, R., Sorai, T., Cuartero, J., 2001. Tomato plant–water uptake and plant–water relationships under saline growth conditions. *Plant Sci* 160:265–272
- Rowe, D. R. & Abdell - Magid, I. M. 1995. *Handbook of wastewater reclamation and reuse*, Boca Raton [etc.], Lewis.

- Segura, M.L., Moreno, R., Martínez, S., Pérez, J. and Moreno, J., 2001. Effects of wastewater irrigation on melon growth under greenhouse conditions. *Acta Horticulturae*, 559: 345-352.
- Stanghellini, C., 2005. «Irrigation water: use, efficiency and economics», en *Improvement in water use efficiency in protected crops*, Junta de Andalucía, Sevilla, págs. 23-33.
- Suay, R. Moreno, J. Segura. M. L. 2013. Reuse of tertiary municipal wastewater effluent for irrigation of Cucumis melo L., S. Martinez, *Irrig Sci* 31:661–672
- Thompson, J.N., 1982. *Interaction and Coevolution*, New York, John Wiley & Sons. 179 pp.
- traka-mavrona. e. maloupa, f. papadopoulos, a. papadopoulos. 1993 response of greenhouse tomatoes to wastewater fertigation in soilless cultivation. *acta horticulturae* 458: international symposium on water quality & quantity-greenhouse.
- Thompson, J.N., 1982. *Interaction and Coevolution*, New York, John Wiley & Sons. 179 pp.
- Turner, N.C, 1988. Measurements of plant water status by pressure chamber technique. *Irrig Sci.* 9: 289–308.
- UNECE, 2009. Standard concerning the marketing and commercial quality control of citrus fruit. New York and Geneva. 12 pp.
- US EPA, 2004. Guidelines for water reuse. U.S. Environmental Protection Agency, Report No. EPA/625/R-04/108, Cincinnati, OH, USA, p 445
- York, D. W., Holden R., Sheikh, B. and Parsons, L. 2008. Safety and Suitability of Recycled Water for Irrigation of Edible Crops. In: *Proceedings of the 23rd Annual WateReuse Symposium*. Dallas: WateReuse Association.
- Zekri, M. and Parsons, L.R. 1990. Calcium influences growth and leaf mineral concentration of citrus under saline conditions. *Hort. Sci.* 25: 784-786.
- Zekri, M. and Parsons, L.R. 1992. Salinity tolerance of citrus rootstocks: effects of salt on root and leaf mineral concentrations. *Plant Soil.* 147: 171-181.

Zid, E. and Grignon, C. 1985. Sodium-calcium interactions in leaves of *Citrus aurantium* grown in the presence of NaCl. *Physiol. Veg.* 23: 895-90.