

# Estudio del atascamiento de goteros mediante distintos índices de calidad del riego usando aguas regeneradas

## *Study of emitter clogging by means of different irrigation quality indexes using reclaimed water*

Rafael Reyes-Requena<sup>a1\*</sup>, José Roldán-Cañas<sup>b1</sup>, Rafael J. Baeza Cano<sup>a2</sup>,  
Juana Isabel Contreras París<sup>a3</sup>, José Gabriel López-Segura<sup>a4</sup> y María Fátima Moreno-Pérez<sup>b2</sup>

<sup>a</sup>Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (IFAPA), Junta de Andalucía, La Mojonera, 04745 Almería, España.

<sup>b</sup>Departamento de Agronomía (Unidad de Excelencia María de Maeztu), Campus de Rabanales, Universidad de Córdoba, 14071 Córdoba, España.

E-mail: <sup>a1</sup>rafael.reyes.requena@juntadeandalucia.es; <sup>b1</sup>jroldan@uco.es; <sup>a2</sup>rafaelj.baeza@juntadeandalucia.es;

<sup>a3</sup>juanai.contreras@juntadeandalucia.es; <sup>a4</sup>jgabriel.lopez@juntadeandalucia.es; <sup>b2</sup>mfatima@uco.es

\*Autor para correspondencia

Recibido: 26/07/2021

Aceptado: 19/01/2022

Publicado: 31/01/2022

**Citar como:** Reyes-Requena, R., Roldán-Cañas, J., Baeza, R., Contreras, J.I., López-Segura, J.G., Moreno-Pérez, M.F. 2022. Study of emitter clogging by means of different irrigation quality indexes using reclaimed water. *Ingeniería del agua*, 26(1), 19-36. <https://doi.org/10.4995/la.2022.15998>

## RESUMEN

En este trabajo se ha estudiado la evolución de seis índices de calidad del riego usando aguas residuales depuradas, según el tratamiento aplicado, el tipo de emisor, su comportamiento hidráulico y su forma de inserción. Los emisores analizados fueron un total de 20 de 10 fabricantes distintos y caudales comprendidos entre 2.0 y 4.0 l/h. Los tratamientos de riego fueron tres: AR (Agua Regenerada), AR-FR (Agua regenerada+fertilización con solución iónica estándar) y AR-FR-M (Agua regenerada+fertilización iónica estándar+mantenimiento). Los resultados muestran un mejor comportamiento del tratamiento AR-FR-M, no existiendo relación entre índices de calidad y tipo de emisor, aunque si con su forma de inserción. Los goteros compensantes muestran un mejor desempeño. Como conclusión, no se recomienda, en ninguna de las condiciones, fertirrigar sin mantenimiento, ya que, afecta al atascamiento de los emisores y, por tanto, a la uniformidad de la instalación.

**Palabras clave** | riego localizado, atascamiento, índices de calidad del riego, aguas residuales depuradas.

## ABSTRACT

*In this work, the evolution of six irrigation quality indexes was studied using treated wastewater, according to the treatment applied, the type of emitter, its hydraulic behavior and its insertion form. A total of 20 emitters from 10 different manufacturers and flow rates between 2.0 and 4.0 l/h were analyzed. There were three irrigation treatments: AR (regenerated water), AR-FR (regenerated water+fertilization with standard ionic solution) and AR-FR-M (regenerated water+standard ionic fertilization+maintenance). The results show a better performance of the AR-FR-M treatment, with no relationship between quality indexes and type of emitter, although there is a relationship with the way of insertion. The compensating drippers show a better performance. In conclusion, fertigation without maintenance is not recommended, under any of the conditions, since it affects the clogging of the emitters and, therefore, the uniformity of the installation.*

**Key words** | drip irrigation, clogging, irrigation quality indexes, treated wastewater.

## INTRODUCCIÓN

Desde su aparición con carácter extensivo a principio de los años setenta del siglo pasado, el riego por goteo o riego localizado no ha dejado de crecer en todo el mundo. Un claro ejemplo se encuentra en España donde este tipo de riego supuso en 2020 el 53.73 % (2 058 322 ha) de la superficie total en riego con un incremento del 14.37% en los últimos diez años, y, en particular, en la región de Andalucía donde se sitúa este estudio ya son 879 800 ha las que se riegan de este modo lo que supone un 78.7 % del total regado (ESYRCE, 2020a). Hay muchas razones que justifican este continuo crecimiento (Zapata, 2020) pero entre ellas destaca su rendimiento de aplicación teórico que se sitúa en torno al 90% (Waller y Yitayew, 2016). Sin embargo, no se puede decir lo mismo de su rendimiento real que, a veces, cae hasta valores no aceptables si no se toman las medidas adecuadas para evitar el atascamiento de los goteros.

La calidad del agua es fundamental en el proceso de obturación de los goteros (Zhou et al., 2017), aunque no es el único factor como demuestran Baeza y Contreras (2020) que encuentran también otras causas, como el tipo de inserción del gotero en el lateral y el carácter compensante o no de los emisores, que tienen efectos sobre su atascamiento. Li et al., (2009) concluyen que el atascamiento se ve también afectado por la duración del riego, tipo de emisor, dimensiones del laberinto de paso de agua y calidad de la fabricación del gotero.

El uso de aguas residuales urbanas regeneradas es frecuente como recurso alternativo en zonas con escasez hídrica como ocurre en la provincia de Almería, lugar donde se han llevado a cabo los experimentos. La calidad química de este tipo de aguas es buena pero no sucede lo mismo con su calidad física y biológica mucho peor que la de las aguas subterráneas (Li et al., 2009, Li et al., 2019). En efecto, el uso de estas aguas ha provocado un aumento de las obturaciones a consecuencia de, por un lado, de la mayor cantidad de sólidos transportados en suspensión y, por otro lado, de la acumulación de biomasa en el interior de tuberías y emisores (Pei et al., 2014). En cualquier caso, el uso de aguas residuales tratadas produce siempre incrustaciones (*fouling*) biológicas en los sistemas de riego por goteo (Tarchizky et al., 2013).

Un problema añadido que fomenta la obturación es la aplicación de los fertilizantes junto al agua de riego (Zhou et al., 2019), lo que resulta inevitable en riego por goteo. Los fertilizantes nutren a los microorganismos que se multiplican con mayor rapidez (Ravina et al., 1997).

Una forma de estudiar el atascamiento de los goteros es calculando los índices de calidad del riego. Liu et al. (2019) utilizan diversos índices para evaluar el grado de atascamiento: la variación de la relación de caudales ( $D_{ra}$ ), el coeficiente de uniformidad (CU); la uniformidad estadística ( $U_s$ ) y la variación del caudal del emisor ( $q_{var}$ ). Por su parte, Baeza y Contreras (2020) trabajan con otros dos índices: el coeficiente de distribución de uniformidad (DU) y el índice de atascamiento del emisor (CE).

Nuestro estudio se localiza en las afueras de la ciudad de Almería, una zona semiárida con una precipitación media anual de 200 mm considerando el periodo 1981-2010 (Agencia Estatal de Meteorología, 2020) en cuya provincia se concentran 33321 ha de invernaderos que representan el 46,42% de la superficie de invernaderos de España y el 60,43% de Andalucía (ESYRCE, 2020b). El agua utilizada en el regadío es fundamentalmente de origen subterráneo lo que ha dado lugar a la sobreexplotación de los acuíferos (Martín-Rosales et al., 2007). Lo anterior ha estimulado el uso de recursos alternativos de agua tal como el agua residual urbana depurada y el agua desalinizada.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar el comportamiento de diversos índices de calidad del riego usando aguas residuales depuradas, considerando o no la aplicación de fertilizantes, y realizando labores de mantenimiento para reducir el atascamiento, según el tipo de emisor, su comportamiento hidráulico y la forma de inserción.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### Ensayos experimentales

El ensayo fue llevado a cabo en un invernadero de experimentación donde se estudió el comportamiento de los goteros utilizando agua residual depurada de origen urbano. Previamente, los goteros fueron probados en un banco de ensayos para obtener

el coeficiente de fabricación y la curva de gasto del emisor. El banco se diseñó siguiendo la norma UNE 68-075-86 y adaptado a la ISO 9261, siendo la metodología del ensayo descrita en detalle por Reyes-Requena et al. (2019).

Los ensayos tuvieron lugar en el Centro de La Cañada del Instituto de Investigación y Formación Agraria de Andalucía, situado en el municipio de Almería al sureste de España (36° 50' 7.0" N, 2° 24' 11.8" O).

Los emisores analizados fueron un total de 20 de 10 fabricantes distintos y caudales comprendidos entre 2.0 y 4.0 L/h. El tipo de inserción del emisor con la tubería se distribuye de la siguiente forma: 6 pinchados, 5 interlínea y 9 integrados. Dependiendo del funcionamiento hidráulico del gotero, 8 son compensantes y 12 no compensantes. Solo uno de los emisores es antidrenante (n° 7). Sus características vienen reflejadas en la Tabla 1. Estos emisores fueron seleccionados por su buen comportamiento obtenido de un estudio anterior (Baeza y Contreras, 2020) que analizaba 38 emisores recomendados por fabricantes para su uso con agua residual, y, concretamente, en el sector de la horticultura almeriense.

**Tabla 1** | Características de los goteros analizados.

Número emisor	Modelo	Fabricante	Caudal nominal (l/h)	Tipo emisor	Coefficiente descarga (k)	Exponente descarga (x)	Coefficiente variación fabricación
1	Twin Drops Adavanced OL	MONDRAGON	2.2	ONCP	0.387	0.4177	1.70
2	ADO	CAUDAL	2	OCP	2.191	-0.0043	2.26
3	Interlínea 12	HIDROTEN	3	ITNCP	0.229	0.5663	2.17
4	NYA	PRIMARAM	4	ITNCP	0.222	0.5858	2.23
5	PCJ	NETAFIN	3	OCP	3.309	-0.0198	2.11
6	Conico desmontable	HIDROTEN	3.5	ONCP	0.301	0.5172	5.20
7	PC-CNL	NETAFIN	3.4	OCP	3.412	-0.0282	2.64
8	TD Advance M	MONDRAGON	3	ONCP	0.330	0.4741	5.01
9	Hydrogol	RIVULIS	3	ITNCP	0.198	0.5721	3.02
10	AGR	AZUD	3	ITNCP	0.263	0.5293	1.96
11	Ammon Drip	NAANDANJAIN Ibérica	3.8	ICP	2.494	0.0832	2.28
12	Interlínea 16	HIDROTEN	3	ITNCP	0.258	0.5581	4.37
13	Interlínea 16	AMACON	3.2	ITNCP	0.356	0.4939	3.67
14	PRO	AZUD	4	ITNCP	0.342	0.5232	2.31
15	Megadrip	MONDRAGON	4	ICP	2.944	0.0832	1.68
16	Topdrip	NAANDANJAIN Ibérica	2.2	ICP	2.211	0.0240	2.92
17	Hydro PC	RIVULIS	3.6	ICP	1.929	0.1432	2.75
18	Unirran	NETAFIN	3.5	ICP	1.960	0.1288	2.01
19	LIN	Extruline Caudal	2.5	INCP	0.224	0.5111	1.62
20	ARIES	NETAFIN	4	INCP	0.361	0.5089	2.84

OCP (Pinchado compensante), ONCP (Pinchado no compensante), ITNCP (Interlínea no compensante), ICP (Integrado compensante) y INCP (Integrado no compensante). El coeficiente de descarga está referido a unidades de presión en kPa.

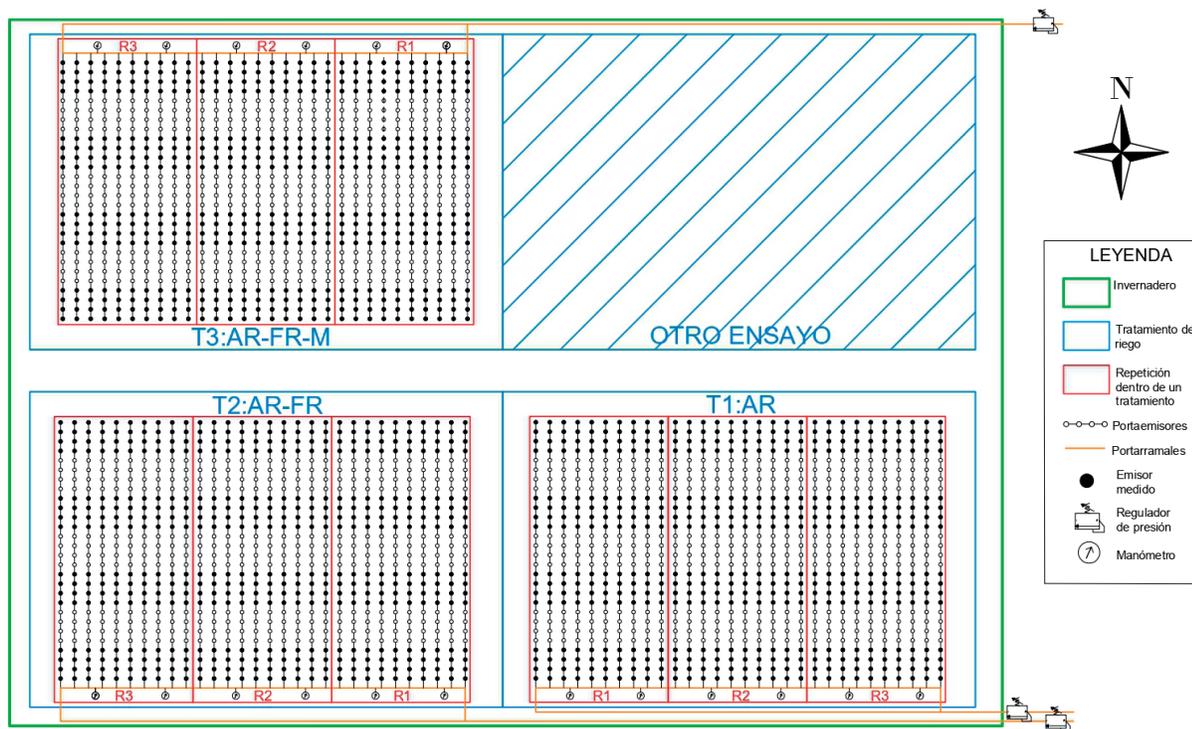
El experimento en condiciones de campo se llevó a cabo en un invernadero de plástico tipo multitúnel de 1440 m<sup>2</sup>. Las dimensiones del invernadero son de 45 m de largo por 32 m de ancho. La altura máxima del invernadero es de 5 m y la más baja de 3.5 m. Existe un pasillo de central de 2 m de anchura que divide al invernadero en dos zonas, norte y sur. El sistema de riego estaba dividido en cuatro sectores, dos en la zona norte, y otras dos, en la zona sur. En este ensayo, se utilizaron tres sectores, uno para cada tratamiento, encontrándose dos en el sur y uno en el norte. El cuarto sector contenía otra experimentación. Aunque no fue factible por falta de espacio, la incorporación de un cuarto tratamiento testigo utilizando únicamente agua desalada o agua subterránea o una mezcla de ambas hubiera mejorado las conclusiones de este trabajo.

Dentro de cada sector se encuentran los ramales o portaemisores abastecidos por las tuberías portarramales. Las tuberías portaemisores tienen una longitud de 15.5 m de largo, son de polietileno con un diámetro interior de 16 mm y una separación entre

emisores de 0.5 m. La pendiente dada a los ramales es nula para que la distribución de las presiones sea lo más uniformemente posible en todo el ramal. Estas tuberías se encontraban agrupadas formando grupos de 4 ramales, con una separación entre ramales de 0.25 m y entre grupos de 0.75 m. El agrupar los ramales facilitaba la toma de muestras de volúmenes. La tubería portarramales forma un circuito cerrado para que la presión de los ramales sea lo más uniforme posible, siendo de polipropileno y diámetro interior de 50 mm. Desde la tubería portarramales al cabezal de riego se encuentra la tubería de distribución que tiene las mismas características que la tubería portarramales con una longitud media de 20 m. Cada sector posee una válvula reductora de presión que regula la presión de funcionamiento establecida en el ensayo, que, en este caso, es de 100 kPa. Liu et al (2019) encontraron que la capacidad anti-atascamiento de los emisores empeora conforme la presión de trabajo disminuye por debajo de 100 kPa, basándose en la evolución de los índices de calidad del riego,  $D_{ra}$ , CU,  $U_s$  y  $q_{var}$ . Como conclusión recomiendan que esa presión sea superior a 60 kPa fijando como recomendable el valor de 100 kPa que es el utilizado en este estudio. Además, se ha escogido esta presión de ensayo ya que todos los emisores no compensantes elegidos tienen una presión nominal de 100 kPa siendo ésta la más frecuente dada por los fabricantes, aparte, todos los emisores compensantes elegidos tienen un intervalo de presiones de trabajo especificado en la ficha técnica dentro del cual se encuentra la presión de funcionamiento del ensayo de 100 kPa. Por último, para comprobar que el ensayo trabaja a la presión especificada existían cinco manómetros distribuidos a lo largo de la tubería portarramales, en los cuales se comprobaba que la presión estaba a 100 kPa tanto durante la medición de caudales como durante el funcionamiento diario de la instalación, que se ajustaba mediante la válvula reductora de presión que existía a la entrada de cada sector. En la Figura 1 se muestra el diagrama con la distribución de los tratamientos y repeticiones, además, de los elementos de la red de riego dentro del invernadero experimental.

El ensayo comenzó a funcionar el 16 de noviembre de 2018 y terminó el 29 de marzo de 2019, regando un total de 84 días equivalente al riego necesario para un ciclo corto de cultivo de tomate. Durante la semana se regaba consecutivamente de lunes a viernes, sin incluir sábados y festivos. El pulso de riego diario era de 30 minutos, por lo que, el riego total fue de 42 horas.

El agua de riego utilizada era del tipo residual procedente de la ciudad de Almería, sureste de España, a través de la comunidad de regantes “Las Cuatro Vegas”. El agua es depurada mediante un tratamiento terciario consistente en la aplicación de



**Figura 1** | Diagrama con la distribución de los tratamientos (T1: AR: Agua regenerada; T2: AR-FR: Agua regenerada + fertilización; T3: AR-FR-M: Agua regenerada + fertilización + mantenimiento) y repeticiones en el invernadero. Representación de la red de riego.

cloratos, en este caso, hipoclorito sódico, seguido de un tratamiento de ozono. Durante el funcionamiento del ensayo, se llevaron a cabo análisis químicos y físicos del agua residual depurada. Se analizaron 5 muestras, una de ellas al principio, otra al final, y, las demás, distribuidas a lo largo del tiempo. Los resultados medios y la desviación de los parámetros de estos análisis se muestran en la Tabla 2.

**Tabla 2** | Análisis físicos y químicos del agua residual depurada (tomado de Baeza et al., 2019).

Parámetros físico-químicos	Promedio ± D. E.
Sólidos en suspensión (mg L <sup>-1</sup> )	12.5 ± 5.0
Conductividad Eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	2.94 ± 0.29
<i>E. coli</i> (u.f.c. 100 mL <sup>-1</sup> )	45.5 ± 39.0
Coliformes totales (u.f.c. 100 mL <sup>-1</sup> )	349 ± 439
pH	7.6 ± 0.1
Turbidez (U.N.T.)	17.13 ± 4.50
Cloro libre residual (mg Cl <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	<0.05
DBO <sub>5</sub> (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	6.25 ± 1.30
DQO (mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	89.75 ± 14.52

Los resultados muestran una escasa variación de los parámetros salvo en el caso de *E. Coli* y Coliformes totales. Sin embargo, estos valores son insignificantes respecto a los normales existentes en las aguas residuales (Marín Galvín, 2014). Según Baeza y Contreras (2020), que trabajaron con estas mismas aguas, el proceso de desinfección elimina estos patógenos en un 99,96%.

Respecto a los tratamientos de riego, éstos fueron tres: T1: AR (Agua Regenerada), T2: AR-FR (Agua regenerada + fertilización con solución iónica estándar) y T3: AR-FR-M (Agua regenerada + fertilización iónica estándar + mantenimiento). El primer tratamiento (AR), se regó con agua residual depurada sin realizar ninguna otra acción. El segundo (AR-FR), se regó con agua residual depurada y se fertilizó con una solución iónica estándar utilizada para el cultivo del tomate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 11 meq/L, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>: 1.5 meq/L, K<sup>+</sup>: 6 meq/L; Ca<sub>2</sub><sup>+</sup>: 5 meq/L y Mg<sub>2</sub><sup>+</sup>: 2 meq/L) y se aplicó la diferencia entre la solución iónica estándar y la cantidad de nutrientes que contenía el agua regenerada. Y, por último, el tratamiento AR-FR-M es igual al anterior, y, además, añadiendo unas labores de mantenimiento. Las labores de mantenimiento del tratamiento AR-FR-M son:

- Mantenimiento del pH de la solución de riego para evitar la aparición de precipitados en la red de riego, el pH programado de mantenimiento fue de 5.5.
- Post-riego sin fertilizantes de 2 minutos al final del pulso de riego. El pH se seguía manteniendo al mismo valor que en todo el pulso. Esta labor provoca que la tubería y los emisores de riego se limpien de la solución nutritiva.
- Apertura de los tapones finales de los ramales de riegos durante varios segundos. Esta labor se realizaba de forma mensual.

Se realizaron una medida inicial, una intermedia y otra final. La unidad experimental, que era una línea o ramal de riego, estaba formada por 32 emisores, de los cuales solamente se tomaba medida de 16. Se hacían 4 medidas por posición, siendo la primera, al comienzo, la segunda y tercera, a 2/4 y 3/4 del ramal, y, la última, al final del ramal. Esto da un total de 16 muestras por ramal. En la Tabla 1, aparecen los emisores medidos dentro de cada ramal. Los volúmenes emitidos eran recogidos en botes de acero inoxidable, que posteriormente, eran medidos mediante una probeta de 250 ± 5 mL. El tiempo de recogida de los volúmenes fue de 3 minutos. Para el estudio de los índices de calidad del riego, se realizaron tres medidas, inicial, intermedia y final, de los volúmenes emitidos por todas las unidades experimentales objeto de estudio.

## Índices de calidad del riego

Los índices de calidad del riego que han sido utilizados en este estudio para evaluar el grado de atascamiento de los goteros son los siguientes (Li et al., 2015; Liu et al., 2019; Baeza y Contreras, 2020):

Variación de la relación de caudales ( $D_{ra}$ , por sus siglas en inglés: *discharge ratio variation*):

$$D_{ra}(\%) = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \frac{q_i^t}{q_i^0} \right)}{n} \cdot 100 \quad (1)$$

donde:  $q_i^t$  es el caudal del emisor  $i$  al cabo de  $t$  horas desde el comienzo del ensayo;  $q_i^0$  es el caudal del mismo gotero en el inicio del ensayo, calculado a partir de su ecuación de gasto obtenida en el banco de ensayos (ver Tabla 1) para la presión de trabajo del emisor (100 kPa), ambos en L/h; y  $n$  es el número total de emisores por ramal.

Coefficiente de uniformidad (CU, por sus siglas en inglés: *coefficient of uniformity*):

$$CU(\%) = 100 \cdot \left( 1 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n |q_i^t - \bar{q}^t| \right)}{n \cdot \bar{q}^t} \right) \quad (2)$$

donde:  $\bar{q}^t$  es el caudal medio de los emisores del ramal al cabo de  $t$  horas desde el comienzo del ensayo.

Uniformidad estadística ( $U_s$ , por sus siglas en inglés: *statistical uniformity*):

$$U_s(\%) = 100 \cdot (1 - V_{qt}) = 100 \cdot \left( 1 - \frac{S_{qt}}{\bar{q}^t} \right) \quad (3)$$

donde:  $V_{qt}$  = coeficiente de variación de los caudales en el tiempo  $t$ ;  $S_{qt}$  = desviación típica.

Variación del caudal del emisor ( $q_{var}$ , por sus siglas en inglés: *emitter flow variation*):

$$q_{var}(\%) = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{q_{max}} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

donde:  $q_{max}$  = caudal máximo a lo largo de un ramal al cabo de un tiempo  $t$ ;  $q_{min}$  = caudal mínimo a la largo de un ramal al cabo de un tiempo  $t$ .

Coefficiente de uniformidad de distribución (DU, por sus siglas en inglés: *uniformity distribution coefficient*):

$$DU(\%) = \frac{\overline{q_{25\%}^t}}{\bar{q}^t} \cdot 100 \quad (5)$$

donde:  $\overline{q_{25\%}^t}$  es el caudal medio del 25% de los emisores con el caudal más bajo (L/h).

Grado de atascamiento del emisor (CE, por sus siglas en inglés: *emitter clogging*):

$$CE(\%) = \frac{q_i^0 - q_i^t}{q_i^0} \cdot 100 \quad (6)$$

## Análisis estadístico

El diseño experimental estaba formado por dos factores, uno el tratamiento de riego y otro los emisores de riego. En cada uno de los tratamientos de riego se establecieron bloques que contienen el total de los emisores analizados, estos bloques se repiten tres veces por cada uno de los tratamientos de riego. La unidad experimental era la línea de riego o ramal. En consecuencia, el

diseño experimental es un bifactorial  $20 \times 3$  en bloques, con dos factores, tipo de emisor (20) y tratamientos de riego (3), y tres repeticiones. La distribución en planta de los tratamientos y repeticiones se muestra en la Figura 1.

Los datos fueron analizados mediante un análisis de la varianza ANOVA, utilizando el programa Statistix 9.0, y realizándose la separación de las medias, según test de honesta diferencia significativa (HSD, método de Turkey) a  $P \leq 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio se ha llevado a cabo calculando los índices de calidad del riego en cada supuesto considerado: 1.- Tratamiento de riego; 2- Tipo de emisor; 3- Comportamiento hidráulico del emisor; 4- Tipo de inserción del emisor. Se ha calculado cada uno de los índices promediando las tres repeticiones que componen a un modelo emisor, en cada uno de los tratamientos.

### Análisis comparativo entre tratamientos

A continuación, se muestran los valores calculados para los índices anteriormente descritos correspondientes a los tres tipos de tratamientos de riego planteados. En la Tabla 3 aparecen los valores medios obtenidos en cada tratamiento y las diferencias significativas existentes entre los tratamientos.

**Tabla 3** | Valores medios  $\pm$  desviación estándar de los índices calculados. Los tratamientos que presenten la misma letra (a,b) dentro de cada índice no presentan diferencias significativas con un nivel de significación  $P < 0.05$ .

	$D_{ra}$	CU	$U_s$	$q_{var}$	DU	CE
T1: AR	$99,4 \pm 7,1$ ab	$96,3 \pm 1,9$ ab	$94,3 \pm 4,0$ a	$19,5 \pm 14,7$ a	$94,9 \pm 4,0$ a	$0,74 \pm 7,11$ a
T2: AR-FR	$97,6 \pm 8,4$ b	$95,8 \pm 2,8$ b	$94,5 \pm 3,4$ a	$20,0 \pm 13,9$ a	$94,4 \pm 3,4$ a	$1,48 \pm 8,08$ a
T3: AR-FR-M	$101,2 \pm 6,9$ a	$97,3 \pm 0,9$ a	$96,4 \pm 1,3$ a	$12,1 \pm 4,5$ a	$96,4 \pm 1,3$ a	$-2,10 \pm 7,02$ b

### Variación de la relación de caudales ( $D_{ra}$ )

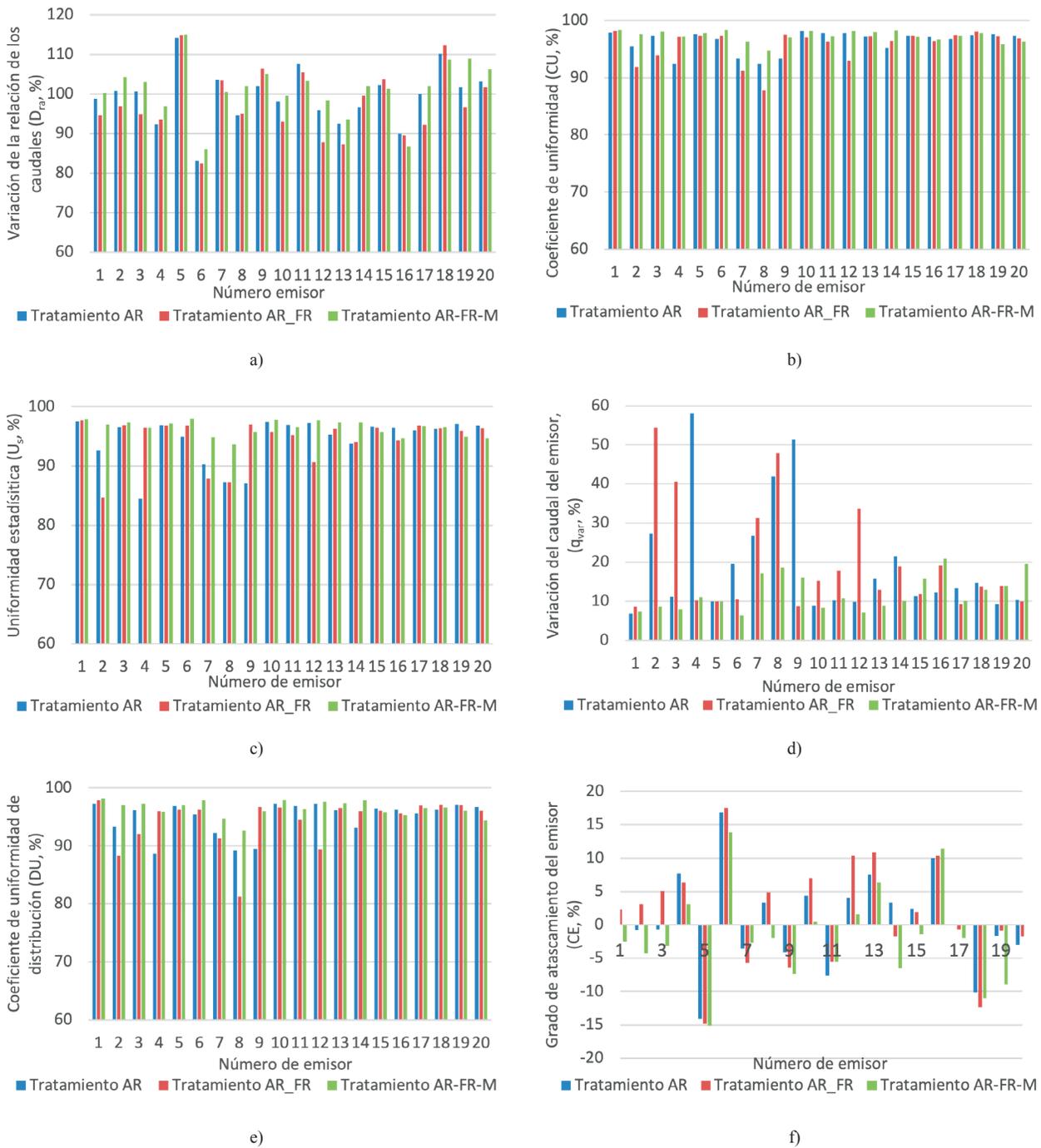
Los datos de  $D_{ra}$ , obtenidos para cada uno de los emisores según el tratamiento aplicado, vienen dados en la Figura 2a. Podemos observar en la Tabla 3 que los valores medios de  $D_{ra}$  de los tres tratamientos dan diferencias significativas entre ellos, dando un mejor resultado en el tratamiento AR-FR-M, seguido de AR y AR-FR. En algunos goteros y tratamientos se obtienen valores de  $D_{ra}$  superiores a 100 lo cual no tiene sentido ya que el valor inicial de caudal considerado es el derivado en el banco de ensayos sin obturaciones. Ello puede deberse a la influencia de la temperatura durante el experimento, que no ha sido controlada.

En cualquier caso, en nuestro estudio son más importantes las diferencias entre tratamientos que el valor absoluto de los índices de calidad del riego.

### Coefficiente de uniformidad (CU)

En la Figura 2b podemos observar los valores de CU de los emisores analizados. Los valores de CU son elevados en todos los tratamientos (ver Tabla 3) y la dispersión de los datos es baja con respecto a la media de cada grupo. Se han encontrado diferencias entre los grupos, obteniendo mejores resultados en el tratamiento AR-FR-M, seguidos de AR y AR-FR.

Estos resultados de los índices  $D_{ra}$  y CU coinciden con los de Li et al (2015) que encontraron que los valores de los índices  $D_{ra}$  y CU mejoraban cuando se hacía algún tipo de lavado de los ramales, lo que coincide con nuestras labores de mantenimiento, en los dos tipos de goteros que usaron.



**Figura 2** | Valores medios de los índices de riego para cada emisor según el tratamiento de riego: a)  $D_{ra}$ ; b) CU; c)  $U_s$ ; d)  $q_{var}$ ; e) DU; f) CE.

### Uniformidad estadística ( $U_s$ )

En la Figura 2c podemos observar los valores de  $U_s$ . En la Tabla 3, se muestran los valores medios de cada uno de los tratamientos, obteniendo mejores según el siguiente orden de mayor a menor: AR-FR-M, AR y AR-FR. Igualmente se repite los resultados de los anteriores índices salvo que no se han encontrado diferencias significativas.

### Variación del caudal del emisor ( $q_{var}$ )

Los valores de  $q_{var}$  vienen dados en la Figura 2d. En la Tabla 3, observamos que los valores medios de cada grupo son elevados, ya que, este índice es muy sensible al atascamiento. El mejor resultado se ha obtenido en el tratamiento AR-FR-M, los otros dos tratamientos han obtenido valores muy similares. Cada grupo tiene una dispersión de los datos muy elevada, dando como resultado que no se encuentren diferencias significativas entre las medias.

### Coefficiente de uniformidad de distribución (DU)

En la Figura 2e podemos observar los datos de DU para cada uno de los emisores según cada tratamiento. En la Tabla 3 vemos que el mejor valor obtenido ha sido para el tratamiento AR-FR. No se han obtenido diferencias significativas entre ningún tratamiento, en este caso, la dispersión de los datos ha sido baja, y esto, no ha influido para que se encuentren diferencias.

### Grado de atascamiento del emisor (CE)

Los datos del índice CE vienen dados en la Figura 2f. Podemos ver en la Tabla 3 que los valores medios de los tratamientos AR y AR-FR han aumentado el grado de atascamiento, siendo mayor en el tratamiento AR-FR. En el tratamiento AR-FR-M ha sido negativo el valor medio. Para todos los tratamientos, la dispersión de los datos es alta. Para los emisores 5, 7, 9, 11 y 18, todos ellos compensantes, hemos obtenido un valor negativo del atascamiento en todos los tratamientos. Este índice es muy sensible al atascamiento al igual que  $q_{var}$ . Se han encontrado diferencias significativas entre dos grupos, por un lado, AR y AR-FR, y, en otro, AR-FR-M. Al igual que en el caso del índice  $D_{ra}$ , la aparición de valores negativos en el grado de atascamiento puede deberse a la temperatura de toma de los caudales de los emisores, que no ha sido controlada durante el experimento, y que haya provocado un aumento del caudal emitido con respecto al nominal.

### Discusión general de la comparación entre tratamientos

Con respecto al comportamiento de los tratamientos, hemos obtenido que el tratamiento AR-FR-M ha dado mejores resultados que el resto de tratamientos, obteniéndose diferencias significativas en  $D_{ra}$ , CU y CE. Con respecto a los tratamientos AR y AR-FR no se han encontrado diferencias significativas entre ambos, aunque en la mayoría de los casos los valores medios de AR-FR fueron peores que AR o muy similares. El índice grado de atascamiento (CE) fue más alto en AR-FR que en AR. Los resultados son lógicos, ya que, el tratamiento que tuvo mantenimiento ha obtenido mejores resultados, por este motivo, son tan importantes las labores de mantenimiento para las instalaciones de riego por goteo tan sensibles al atascamiento. El segundo con mejor comportamiento fue el tratamiento AR, ya que, únicamente se aplicó agua regenerada y, por último, el tratamiento AR-FR que además de regar con el agua regenerada se aplicó una solución de fertilizantes en el riego.

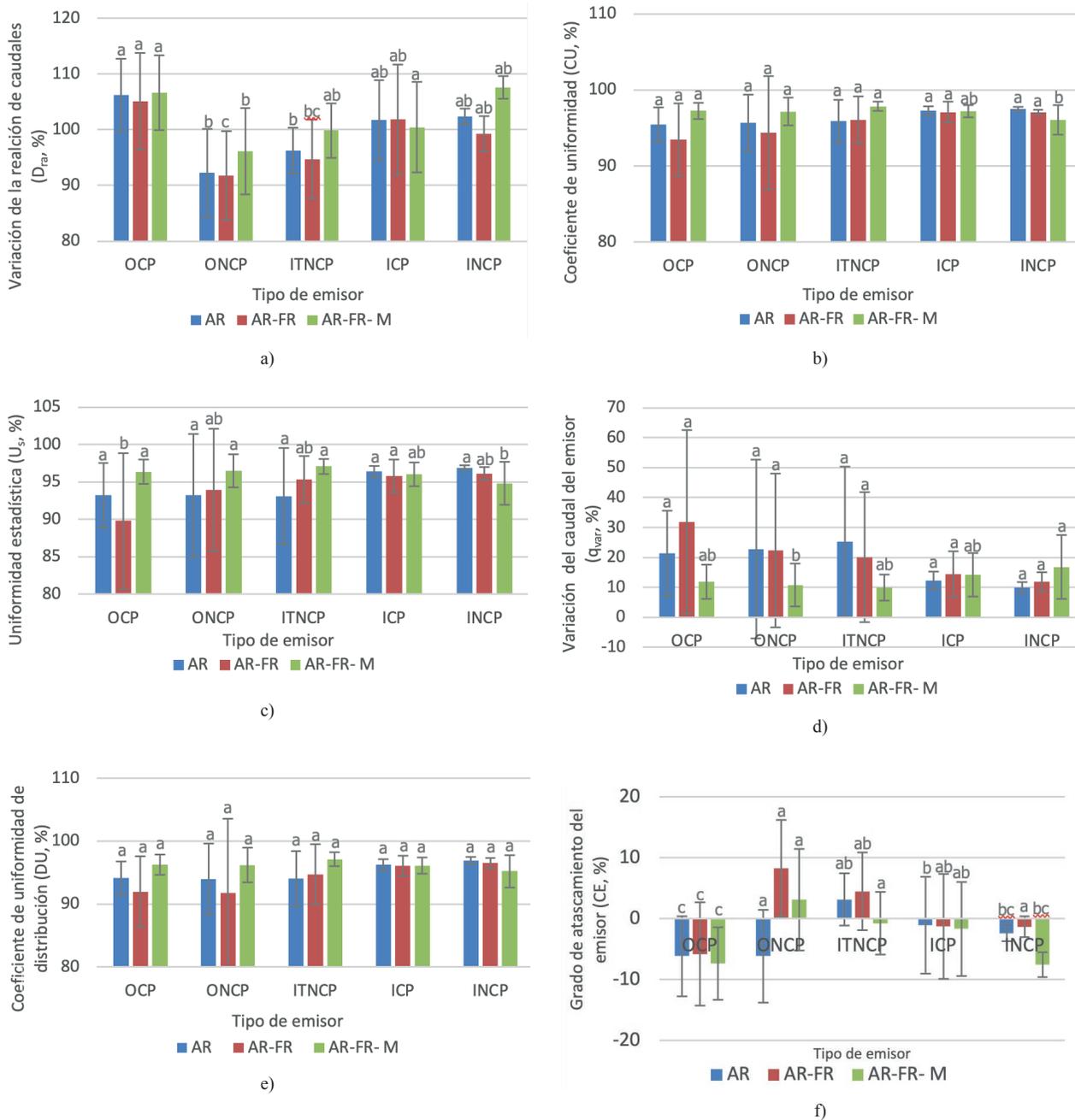
Así pues, las labores de mantenimiento pueden ayudar a reducir los niveles de atascamiento como han encontrado otros autores. Por ejemplo, labores periódicas de lavado de laterales de riego que ayudan a mejorar los índices de atascamiento de los goteros (Li et al., 2015; Han et al., 2018; Li et al., 2019); mantenimiento del pH de la solución de riego en valores determinados para evitar la formación de precipitados (Katz et al. 2014; Contreras et al., 2016, Song et al., 2017) o un post-riego de corta duración sin fertilizante para retirar la solución nutritiva de los ramales (Baeza et al., 2019).

Es de destacar que los índices de  $D_{ra}$ , CU y CE han dado diferencias significativas entre los tres tratamientos, obteniéndose los mejores resultados según mismo orden en todos ellos.

Así pues, se recomienda realizar labores de mantenimiento, dichas labores se pueden programar en los cabezales de riego actuales, como puede ser, un mantenimiento de un pH óptimo para que no ocurran precipitación de las sales o un post-riego con agua sin fertilizantes. De forma manual y organizada por el agricultor, se recomienda la abertura de los laterales de la tubería portaemisores cada cierto período de tiempo para que las partículas más gruesas, que se acumulan en la parte final de la tubería, salgan y no provoquen una obturación adicional en los emisores finales de la tubería. No se recomienda en ninguna de las condiciones, fertilizar y no realizar ningún tipo de mantenimiento, ya que, afecta al atascamiento de los emisores y, por tanto, a la uniformidad de la instalación.

## Análisis comparativo según el tipo de emisor

Se ha estudiado las diferencias existentes según el tipo de gotero analizado, éstos son cinco, clasificados según su comportamiento hidráulico y tipo de inserción. Estos grupos son: OCP (Pinchado compensante), ONCP (Pinchado no compensante), ITNCP (Interlínea no compensante), ICP (Integrado compensante) e INCP (Integrado no compensante). Se han analizado los cinco grupos descritos en cada uno de los tratamientos.



**Figura 3 |** Valores medios y desviación típica de los índices de calidad del riego para cada tipo de emisor según tratamiento. Las mismas letras dentro de un tratamiento indican que no existen diferencias significativas  $P < 0,05$ . a)  $D_{ra}$ ; b) CU; c)  $U_s$ ; d)  $q_{var}$ ; e) DU; f) CE.

### Variación de la relación de caudales ( $D_{ra}$ )

Los valores medios de  $D_{ra}$  para cada uno de los tipos de emisores vienen dados en la Figura 3a. Todos los tratamientos presentan diferencias entre los grupos (tipo de emisores) analizados. El grupo OCP (Pinchado compensante) ha obtenido el mejor valor en todos los tratamientos.

### Coefficiente de uniformidad (CU)

En la Figura 3b se muestran los valores de CU para cada tipo de emisor según cada tratamiento. Podemos identificar mediante el análisis estadístico realizado que no existen diferencias significativas de los distintos grupos en cada uno de los tratamientos, exceptuando en el tratamiento AR-FR-M que si se encuentran diferencias significativas entre grupos.

### Uniformidad estadística ( $U_s$ )

Los valores medios y la desviación estándar de  $U_s$  vienen dados en la Figura 3c. Del análisis estadístico podemos observar que se encuentran diferencias significativas en los tratamientos AR-FR y AR-FR-M.

### Variación del caudal del emisor ( $q_{var}$ )

En la Figura 3d, encontramos los valores medios de  $q_{var}$  junto a su desviación estándar. Del análisis comparativo de las medidas, observamos que solo hay diferencias significativas en el tratamiento AR-FR-M. Este índice presenta una dispersión muy alta en sus datos reflejado en un valor alto de la desviación estándar, debido a esto, el análisis comparativo realizado no haya podido encontrar diferencias entre los grupos de algún tratamiento.

### Coefficiente de uniformidad de distribución (DU)

Los valores medios y de desviación estándar de DU para cada tipo de emisor vienen en la Figura 3e. En el análisis de comparación de medias efectuado se ha encontrado que todos los grupos son homogéneos y no hay diferencias entre las tipologías del emisor en ninguno de los tratamientos. Los valores obtenidos en todas las tipologías de emisor y tratamientos han sido muy similares.

### Grado de atascamiento del emisor (CE)

Los valores de CE de cada tipología de emisor en los distintos tratamientos analizados vienen en la Figura 3f. Las disminuciones del grado atascamiento de mayor a menor en OCP, INCP y ICP en todos los tratamientos. El atascamiento aumenta en el tipo de emisor ONCP seguido de ITNCP. Hay diferencias significativas en los tres tratamientos de riego. Este índice presenta un alto nivel de dispersión de los datos por su alta sensibilidad al atascamiento, y esto puede hacer que no se hayan encontrado más diferencias entre los grupos.

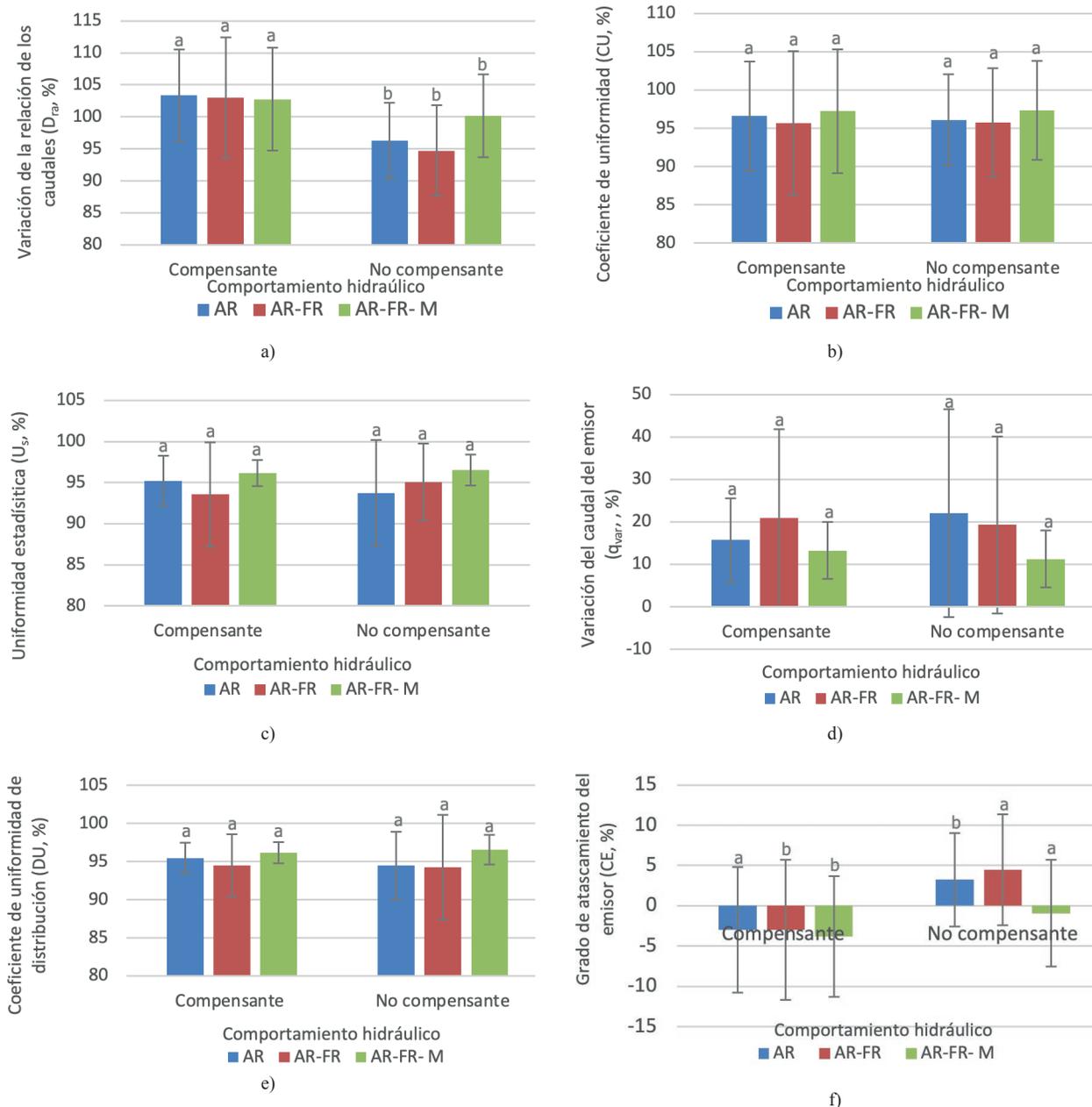
### Discusión general de la comparación entre tipos de emisores

En relación al estudio comparativo del tipo de emisor, podemos observar que dentro de tratamiento AR-FR-M se han obtenido diferencias significativas en todos los índices salvo en DU, no repitiéndose en ningún índice las mismas diferencias. En el tratamiento AR-FR solo se han encontrado diferencias en los índices  $D_{ra}$ ,  $U_s$  y CE, tampoco repitiéndose las mismas diferencias en estos tres índices. En el grado de atascamiento (CE) destaca la disminución del atascamiento del emisor Pinchado compensante (OCP) y del integrado no compensante (INCP).

En el tratamiento AR no se ha encontrado ninguna diferencia en ningún de los índices salvo en  $D_{ra}$ . Con los resultados obtenidos no podemos concluir que haya una relación directa entre el tipo de emisor y los resultados obtenidos de los índices de calidad del riego.

## Análisis comparativo según el comportamiento hidráulico

Se han analizado las diferencias existentes según su comportamiento hidráulico para cada uno de los tratamientos de riego efectuados. Esta clasificación está basada en dos grupos: Compensante y No Compensante. A continuación, se muestran los valores de cada índice calculado y las diferencias encontradas entre los dos grupos en cada tratamiento.



**Figura 4** | Valores medios y desviación típica de los índices de calidad del riego para cada comportamiento hidráulico según tratamiento. Las mismas letras dentro de un tratamiento indican que no existen diferencias significativas  $P < 0.05$ . a)  $D_{ra}$ ; b) CU; c)  $U_s$ ; d)  $q_{var}$ ; e) DU; f) CE.

### Variación de la relación de caudales ( $D_{ra}$ )

Los valores medios de  $D_{ra}$  clasificados según el comportamiento hidráulico del emisor para cada uno de los tratamientos vienen dados en la Figura 4a. Se han encontrado diferencias significativas en su comportamiento hidráulico, es decir, entre compensante y no compensante en todos los tratamientos.

### Coefficiente de uniformidad (CU)

En la Figura 4b, se muestran los valores medios de CU según el comportamiento hidráulico en cada tratamiento. En la misma podemos observar que no existen diferencias en el comportamiento hidráulico (compensante y no compensante) en ninguno de los tratamientos.

### Uniformidad estadística ( $U_s$ )

Los valores de  $U_s$  según el comportamiento hidráulico que se ha obtenido en cada tratamiento, vienen dados en la Figura 4c. Del análisis comparativo de las medias vemos que no se encuentran diferencias en su comportamiento hidráulico en ningún tratamiento.

### Variación del caudal del emisor ( $q_{var}$ )

En la Figura 4d aparecen los datos medios de  $q_{var}$  clasificados según el comportamiento hidráulico para cada tratamiento estudiado. El resultado del análisis de comparación de las medias de los emisores según su comportamiento hidráulico para cada uno de los tratamientos muestra que no se han encontrado ninguna diferencia. Hay que tener en cuenta que este índice presenta un alto nivel de dispersión de sus datos, y, esto puede que haya influido en que no se hayan encontrado diferencias entre los grupos.

### Coefficiente de uniformidad de distribución (DU)

Los valores medios de DU clasificados según el comportamiento hidráulico para cada uno de los tratamientos vienen dados en la Figura 4e. El análisis de comparación de medias dado revela que no se han encontrado diferencias significativas en su comportamiento hidráulico en ninguno de los tratamientos.

Baeza y Contreras (2020) encontraron, sin embargo, diferencias en los valores de DU siendo los de mejor comportamiento los no compensantes. No obstante, si observamos la Figura 4e, se puede decir que nuestros resultados coinciden con los de Baeza y Contreras, aunque no hayamos encontrado diferencias estadísticamente significativas entre ambas muestras.

### Grado de atascamiento del emisor (CE)

En la Figura 4f, se presentan los datos medios de CE en la clasificación realizada según el comportamiento hidráulico para cada uno de los tratamientos analizados. El grupo de emisores no compensantes ha presentado el mayor atascamiento. El análisis de comparación de medias entre los grupos de la clasificación según comportamiento hidráulico ha encontrado diferencias significativas en todos los tratamientos.

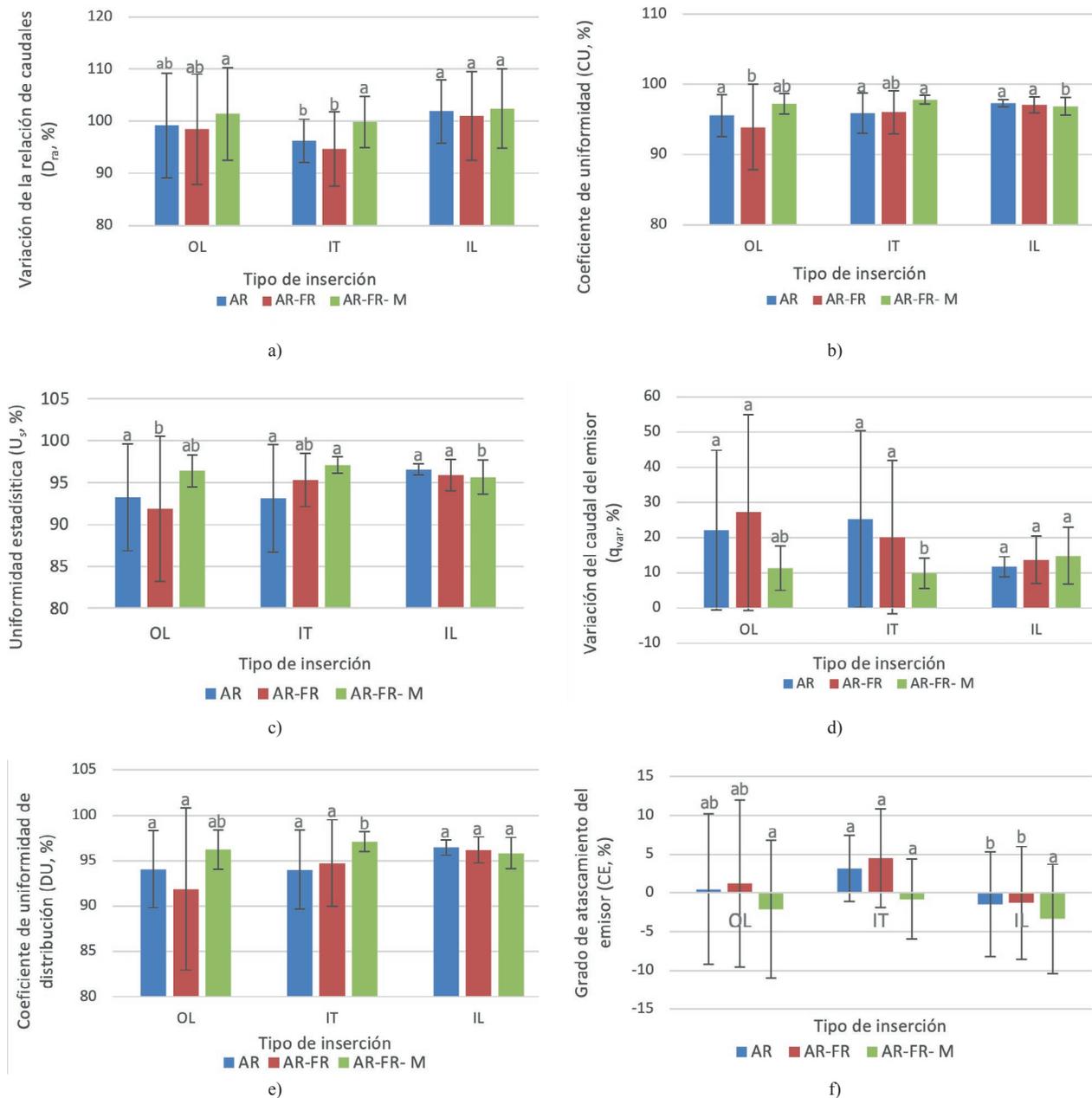
En relación con este índice, Baeza y Contreras (2020) no encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos tipos de emisores compensantes y no compensantes no coincidiendo con los resultados obtenidos.

### Discusión general de la comparación según el comportamiento hidráulico

En lo que concierne al comportamiento hidráulico, podemos observar claramente que en el índice  $D_{ra}$  existen diferencias entre los emisores compensantes y no compensantes en todos los tratamientos, obteniendo mejores resultados en los compensantes,

diferencia importante, ya que,  $D_{ra}$  nos indica la variación del flujo después de un tiempo de funcionamiento del gotero con respecto al caudal obtenido en el banco de ensayos, por lo que, ser compensante o no compensante afecta en la variación del flujo a lo largo del tiempo independientemente del manejo. En el índice del grado de atascamiento (CE) podemos observar que también influye que sea compensante o no compensante para todos los tratamientos. En el resto de los índices, no se han encontrado diferencias.

Nuestros resultados coinciden con los de Puig-Bargués et al (2010) que recomiendan el uso de goteros compensantes cuando se usan aguas residuales regeneradas. Por el contrario, Baeza y Contreras (2020) concluyen que los goteros no compensantes son menos sensibles al atascamiento que los goteros compensantes principalmente cuando el agua sea de más baja calidad y cuando los goteros se instalen pinchados.



**Figura 5** | Valores medios y desviación típica de los índices de calidad del riego para cada tipo de inserción según tratamiento. Las mismas letras dentro de un tratamiento indican que no existen diferencias significativas  $P < 0.05$ . a)  $D_{ra}$ ; b) CU; c)  $U_s$ ; d)  $q_{var}$ ; e) DU; f) CE.

## Análisis comparativo según la forma de inserción

Se han analizado las diferencias entre la forma de inserción de la muestra de goteros analizada. Se han creado tres grupos que son los siguientes: OL (Pinchado), IT (Interlínea) y IL (Integrado). A continuación, se muestran las diferencias encontradas entre los grupos creados para cada uno de los índices calculados y tratamiento de riego.

### Variación de la relación de caudales ( $D_{ra}$ )

En la Figura 5a, se muestran los valores medios de  $D_{ra}$  según la clasificación por tipo de inserción del emisor en cada uno de los tratamientos. Los resultados de la comparación de medias de los grupos clasificados según su tipo de inserción nos muestran diferencias en los tratamientos AR y AR-FR. Estos dos tratamientos presentan los mismos grupos homogéneos, presentando diferencias entre IL y OL. IT comporta semejanzas entre los grupos OL y IL.

### Coefficiente de uniformidad (CU)

Los valores medios de CU según la clasificación por tipo de inserción en cada uno de los tratamientos vienen dados en la Figura 5b. Se muestra en el análisis estadístico que existen diferencias en los tratamientos AR-FR y AR-FR-M.

### Uniformidad estadística ( $U_s$ )

En la Figura 5c, se pueden observar los datos medios de  $U_s$  según la clasificación de tipo de inserción para cada tratamiento analizado. Del análisis comparativo de las medias se ha obtenido que existen diferencias significativas entre los grupos de los tratamientos AR-FR y AR-FR-M.

### Variación del caudal del emisor ( $q_{var}$ )

Los valores medios de  $q_{var}$  según la tipología de inserción para cada tratamiento se encuentran en la Figura 5d. Se han encontrado diferencias significativas únicamente en el tratamiento AR-FR-M. En la figura podemos observar que la dispersión de los datos es bastante elevada, ya que, la desviación estándar ha dado unos valores muy altos. Esto afecta negativamente a la comparación de las medias, ya que, al ver mucha dispersión puede hacer que no se obtengan diferencias..

### Coefficiente de uniformidad de distribución (DU)

En la Figura 5e se encuentran los valores de DU según la clasificación por la tipología de inserción para cada tratamiento. Los goteros integrados (IL) obtuvieron los mejores resultados coincidiendo con los obtenidos por Baeza y Contreras (2020) que encontraron que los goteros integrados muestran mejor comportamiento que los pinchados. Los resultados comparativos del análisis de los distintos grupos han dado diferencias significativas en el tratamiento AR-FR-M.

### Grado de atascamiento del emisor (CE)

Los valores medios de atascamiento según la tipología de inserción vienen dados en la Figura 5f. Se han encontrado diferencias significativas en la tipología de inserción para los tratamientos AR y AR-FR. El grado de atascamiento ha sido el más alto en los goteros interlínea (IT). Los valores de atascamiento presentan bastante dispersión de los datos, y, esto puede hacer que se encuentren posibles diferencias entre los grupos. Baeza y Contreras (2020) encontraron, sin embargo, un mejor CE en los goteros integrados.

## Discusión general de la comparación según la forma de inserción

El estudio comparativo según la forma de inserción, nos indica que se han encontrado diferencias según el tipo de inserción en todos los índices del tratamiento AR-FR-M salvo en  $D_{ra}$ . En el tratamiento AR o testigo no se han encontrado diferencias en ningún índice salvo en  $D_{ra}$ . Y en el tratamiento AR-FR se han encontrado diferencias en  $D_{ra}$ , CU,  $U_s$  y CE, repitiéndose las mismas diferencias en CU y  $U_s$  para los tratamientos AR-FR y AR-FR-M. En el índice del grado de atascamiento podemos observar que los mejores valores son para los goteros integrados (IL) seguidos de los pinchados (OL) y, por último, los interlínea (IT).

---

## CONCLUSIONES

Con el tratamiento AR-FR-M, agua regenerada + fertilización iónica estándar + mantenimiento, se han obtenido los mejores resultados seguidos de los tratamientos AR, agua regenerada, y de AR-FR, agua regenerada + fertilización iónica estándar, respectivamente. Por este motivo, no se recomienda fertirrigar sin realizar ningún tipo de mantenimiento, ya que, esto afectará al atascamiento del emisor, y, por tanto, a la uniformidad del riego.

En relación con el estudio comparativo del tipo de emisor, no se puede concluir que haya una relación directa entre el tipo de emisor y los resultados obtenidos de los índices de calidad del riego.

Con respecto al comportamiento hidráulico, han tenido, en general, mejores resultados los goteros compensantes.

Por otro lado, el estudio comparativo según la forma de inserción, nos indica que se han encontrado diferencias según el tipo de inserción en todos los índices en el caso del tratamiento AR-FR-M, por lo que, la forma de inserción en el gotero influye en el mantenimiento obteniendo los mejores resultados en los goteros integrados.

Por último, no se pueden extraer conclusiones definitivas sobre el comportamiento de los emisores frente al atascamiento analizando un único índice de calidad del riego dado su diferente desempeño en cada supuesto.

---

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio forma parte de los trabajos del proyecto “Gestión sostenible del regadío en la agricultura intensiva de Andalucía” (RTA2015-00029-C02-02), que ha sido financiado por INIA y por la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER). Se agradece también el soporte financiero del Ministerio de Ciencia e Innovación, la Agencia Española de Investigación, a través del programa Severo Ochoa y María de Maeztu para Centros y Unidades de Excelencia en I+D (Ref. CEX2019-000968-M)

---

## REFERENCIAS

- Agencia Estatal de Meteorología. 2020. (<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos?l=63250&k=and>). Página visitada el 11 de diciembre de 2020.
- Baeza, R., Contreras, J.I. 2020. Evaluation of thirty-eight models of drippers using reclaimed water: effect on distribution uniformity and emitter clogging. *Water*, 12, 1463. <https://doi.org/10.3390/w12051463>
- Baeza Cano, R., Contreras París, J.I., Cánovas Fernández, G., Alonso López, F., Reyes Requena, R. Roldán Cañas, J., Moreno Pérez, M.F. 2019. Riego localizado con aguas regeneradas: influencia del fertirriego y de las labores de mantenimiento en la uniformidad del agua. *VI Jornadas de Ingeniería del Agua*, Toledo. <http://www.jia2019.es/>
- Contreras París, J.I., López Segura, J.G., Trujillo Delgado, J., Alonso López, F., Baeza Cano, R. 2016. Influencia de la fertirrigación con agua regenerada y las labores de mantenimiento en la uniformidad de riego. *XXXIV Congreso nacional de Riegos*. Sevilla.

- ESYRCE. 2020a. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- ESYRCE. 2020b. Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 49 pp.
- Han, S., Li, Y., Xu, F., Sun, D., Feng, J., Liu, Z., Wu, R., Wang, Z. 2018. Effect of lateral flushing on emitter clogging under drip irrigation with yellow river water and suitable method. *Irrigation and Drainage*, 67, 199-209. <https://doi.org/10.1002/ird.2193>
- Katz, S., Dosoretz, C., Chen, Y., Tarchizky, J. 2014. Fouling formation and chemical control in drip irrigation systems using treated wastewater. *Irrigation Science*, 32, 459-469. <https://doi.org/10.1007/s00271-014-0442-4>
- Li, J., Chen, L., Li, Y. 2009. Comparison of clogging in drip emitters during application of sewage effluent and groundwater. *Trans. ASABE*, 52(4), 1203-1211. <https://doi.org/10.13031/2013.27797>
- Li, Y., Song, P., Pei, Y., Feng, J. 2015. Effects of lateral flushing on emitter clogging and biofilm components in drip irrigation systems with reclaimed water. *Irrigation Science*, 33, 235-245. <https://doi.org/10.1007/s00271-015-0462-8>
- Li, N., Kang, Y., Li, X., Wan, S., Zhang, C., Wang, X. 2019. Lateral flushing with fresh water reduced emitter clogging in drip irrigation with treated effluent. *Irrigation Science*, 37, 627-635. <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00637-3>
- Lili, Z., Yang, P., Ren, S., Li, Y., Liu, Y., Xia, Y. 2016. Chemical clogging of emitters and evaluation of their suitability for saline water drip irrigation. *Irrigation and Drainage*, 65, 439-450. <https://doi.org/10.1002/ird.1972>
- Liu, Z., Xiao, Y., Li, Y., Zhou, B., Feng, J., Han, S., Muhammad, T. 2019. Influence of operating pressure on emitter anti-clogging performance of drip irrigation system with high-sediment water. *Agricultural Water Management*, 213, 174-184. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.017>
- Marín Galvín, R. 2014. Control de calidad de las aguas residuales y regeneradas: parámetros a controlar en función de las normativas aplicables y nuevas tendencias. *Teconagua*, 5, 50-63
- Martín-Rosales, W., Pulido-Bosch, A., Vallejos, A., Gisbert, J., Andreu, J.M., Sánchez-Martos, F. 2007. Hydrological implications of desertification in southeastern Spain. *Hydrological Sciences Journal*, 52(6), 1146-1161. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.6.1146>
- Pei, Y., Li, Y., Liu, Y., Zhou, B., Shi, Z., Jiang, Y. 2014. Eight emitters clogging characteristics and its suitability under on-site reclaimed water drip irrigation. *Irrigation Science*, 32, 141-157. <https://doi.org/10.1007/s00271-013-0420-2>
- Puig-Bargués, J., Arbat, G., Elbana, M., Duran-Ros, M., Barragán, J., Ramírez de Cartagena, F., Lamm, F.R. 2010. Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management*, 97, 883-891. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.01.019>
- Ravina, I., Paz, E., Sofer, Z., Marcu, A., Schischa, A., Sagi, G., Yechialy, Z., Lev, Y. 1997. Control of clogging in drip irrigation with stored treated municipal sewage effluent. *Agricultural Water Management*, 33, 127-137. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(96\)01286-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(96)01286-3)
- Reyes-Requena, R., Baeza-Cano, R., Cánovas Fernández, G., López-Segura, J.G., Roldán-Cañas, J., Moreno-Pérez, M.F. 2019. Determinación en laboratorio de las características hidráulica de una selección de dieciséis modelos comerciales de emisores de riego localizado. *VI Jornadas de Ingeniería del Agua*, Toledo. <http://www.jia2019.es/>
- Song, P., Li, Y., Zhou, B., Zhou, C., Zhang, Z., Li, J. 2017. Controlling mechanism of chlorination on emitter bio-clogging for drip irrigation using reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 184, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.017>
- Tarchitzky, J., Rimon, A., Kenig, E., Dosoretz, C.G., Chen, Y. 2013. Biological and chemical fouling in drip irrigation systems utilizing treated wastewater. *Irrigation Science*, 31, 1277-1288. <https://doi.org/10.1007/s00271-013-0406-0>
- Waller, P., Yitayew, M. 2016. *Irrigation and drainage engineering*. Springer, Switzerland, 742 pp.
- Zapata, A. 2020. *Manual práctico de sistemas de riego localizado*. Mundi-Prensa. Madrid, 236 pp.

Zhou, B., Li, Y., Song, P., Zhou, Y., Yu, Y., Bralts, V. 2017. Anti-clogging evaluation for drip irrigation emitters using reclaimed water. *Irrigation Science*, 35(3), 181-192. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0530-8>

Zhou, H., Li, Y., Xiao, Y., Liu, Z. 2019. Different operation patterns on mineral components of emitters clogging substances in drip phosphorus fertigation system. *Irrigation Science*, 37, 691-707. <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00643-5>