

## ALGUNAS LECCIONES DE LA INVESTIGACIÓN RECIENTE EN EL GENIL-CABRA

H Gómez-Macpherson, B Cuadrado, S Carmona, I Domenech, EV Taguas

En este breve documento se presentan los principales resultados de la investigación realizada estos últimos años, fruto de la colaboración entre la Comunidad de Regantes del Genil-Cabra y el Instituto de Agricultura Sostenible (IAS-CSIC), con el objetivo de desarrollar o adaptar herramientas y protocolos para mejorar la gestión del riego y la sostenibilidad de los sistemas.

Se ha trabajado sobre las siguientes preguntas:

- ¿cuánta escorrentía resulta de la lluvia?  
¿bajo qué condiciones?
- ¿qué cantidad de sedimentos lleva el agua y qué características de la escorrentía puede favorecer esa pérdida de suelo?
- ¿cómo es la calidad del agua de escorrentía?  
¿lleva agroquímicos? ¿en qué concentración?



Sistema de riego por goteo en parcela:

- ¿funcionan bien las instalaciones?
- ¿qué elementos son más comunes en aquellos que funcionan bien? ¿y en los que mal?
- ¿cómo penaliza un mal funcionamiento a la productividad y sostenibilidad de la parcela?

## METODOLOGÍA

*Escala cuenca* (303 ha, pendiente 10 %, suelo: vertisol, litosol):

51 eventos de escorrentía medidos en aforador, así como la calidad del agua de dicha escorrentía durante 4 años hidrológicos (2011-2012; 2017-2018; 2018-2019; 2021-2022)



*Escala parcela* = subunidad de riego seleccionada

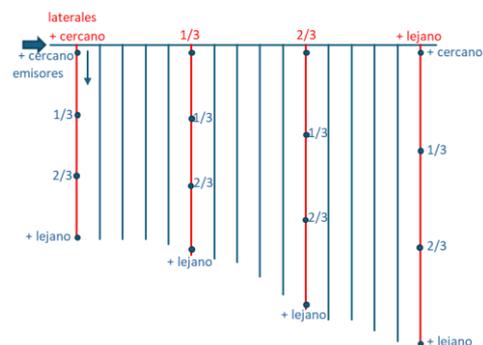
10 parcelas evaluadas (24-25 julio 2023)

- 4 laterales: el más cercano y el más lejano de la toma de la tubería terciaria, y los dos intermedios a 1/3 y 2/3

- 4 emisores por lateral

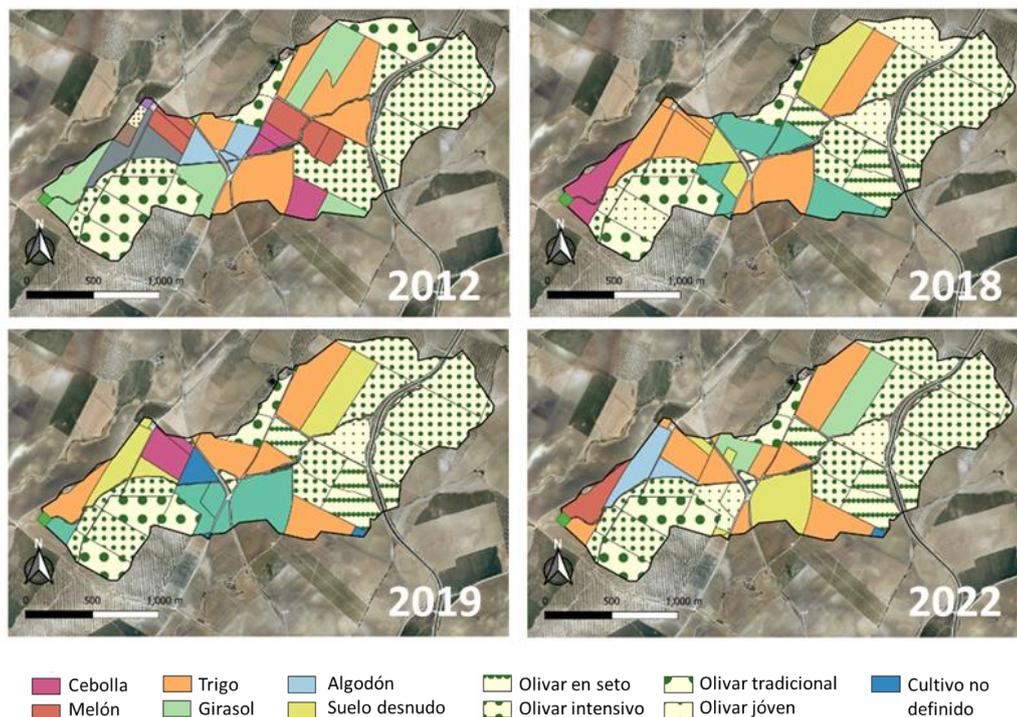
TOTAL = 16 puntos de medida (16 emisores):

- volumen de agua durante 3 minutos
- presión cercana al emisor



## RESULTADOS

### Evolución de los sistemas de cultivo en la cuenca



- el cambio principal de uso con los años ha sido la **extensión e intensificación del olivar**.

## Lluvia y Escorrentía

Datos año hidrológico ¿en qué campaña ocurrió más escorrentía? (mm=l/m<sup>2</sup>)

Año hidrológico	2011-12	2017-18	2018-19	2021-22
Precipitación (mm)	298	<b>793</b>	492	<b>283</b>
Escorrentía (mm)	<b>2</b>	<b>41</b>	<b>111</b>	39
Riego (mm)	251	92	166	71
Evapotranspiración de referencia (ETO) (mm)	1388	1295	1375	1234
*Coef escorrentía (%)	0.7	5.2	<b>23</b>	<b>14</b>

\*fracción del agua de lluvia precipitada que resulta en escorrentía

Gran variabilidad en precipitaciones (283 - 793 mm), sin embargo, **mayores precipitaciones anuales no implicaron necesariamente mayores escorrentías**:

- el coeficiente de escorrentía más alto se obtuvo en 2018-19 (23%), cuando fuertes tormentas en el otoño humedecieron los suelos prontamente, y la humedad se mantuvo hasta la primavera resultando en un alto volumen de escorrentía con las lluvias al poder infiltrar menos agua.
- en 2017-2018 y 2021-2022: escasas precipitaciones en otoño e invierno, pero abundantes en primavera
- en 2011-2012: escasa precipitación durante condiciones secas (después del verano y después de un invierno seco) resultando en poca escorrentía

### Escorrentía y sedimentos ¿ocurre más erosión con eventos largos? ¿o con los más intensos?

#### 51 eventos de escorrentía monitorizados (12 de ellos analizados para medir sedimentos)

- El riego no generó escorrentía en condiciones normales de funcionamiento. Sólo se registró escorrentía en casos excepcionales de roturas del sistema de riego.

Características de los eventos	media	máximo
Duración de la precipitación (h)	15	45
Precipitación (mm)	17	51
Intensidad máxima en 1 h ( $I_{60}$ ) (mm/h)	6,1	24
Periodo de retorno de $I_{60}$ (años)	0,3	9,4
Precipitación acumulada 10 días previos (mm)	26	107
Evapotranspiración (ET <sub>0</sub> ) 10 días previos (mm)	23	43
Escorrentía (mm)	2,3	16
Duración de la escorrentía (h)	20,2	57
Coefficiente de escorrentía (%)	12,2	61

Se observó gran variabilidad entre eventos de escorrentía:

- de media han durado 15 horas y con precipitación media de 17 mm
- la precipitación máxima detectada en un evento fue de 51 mm
- la intensidad máxima detectada considerando periodos de 1 hora fue de 24 mm/h
- el periodo de retorno de esa intensidad máxima de 1 hora (60 min) es de 9,4 años, es decir, que como media llueve con esa intensidad cada 9,4 años.
- el coeficiente de escorrentía medio de los 51 episodios fue del 12%: como media, de la precipitación caída, aproximadamente una décima parte escurrió fuera de la cuenca. Pero se obtuvo un máximo de 61%, un valor muy alto típico en suelos muy arcillosos ya muy húmedos.

#### 12 eventos de escorrentía analizados para medir sedimentos:

Características de los eventos	media	máximo
Concentración de sedimentos (g/l)	9,7	20,1

- la concentración media de sedimentos en la escorrentía fue de 9,7 g/l
- La concentración máxima de sedimentos medida fue de 20,1 g/l, más del doble de la media. La carga total de sedimentos para el evento más extremo fue de 1,7 t/ha, lo que implica una pérdida de casi 2 toneladas por hectárea.

Características relacionadas con la erosión del suelo	Concentración de sedimentos media	Carga total de sedimentos
Duración de la precipitación	++	+++
Precipitación evento	++	++
Intensidad máxima durante 60 min	+ débil	+ débil
Precipitación en 10 días previos	+++	+++
ETo acumulada los 10 días previos	--	--

+++/++ positivamente relacionados; -- negativamente relacionados

- La concentración de sedimentos en el agua de escorrentía de un evento y la carga total de sedimentos en ese evento, dependen principalmente de la precipitación caída los 10 días previos al evento, así como de la duración de la precipitación durante el evento, además de la precipitación caída.
- Los eventos de escorrentía empiezan cuando empieza a correr agua por el aforador, pero lógicamente puede llevar días lloviendo antes de que esto ocurra. El perfil del suelo se va humedeciendo y llega un momento en que no puede infiltrar toda el agua que cae y esta corre siguiendo la pendiente. *La aparición de sedimentos en esta agua parece favorecida por la ocurrencia de precipitación durante más tiempo sobre suelo ya saturado de agua.*
- Por tanto, *cuanto más protegido esté el suelo y mayor sea la infiltración de agua en él, menor probabilidad de erosión hídrica.*

#### *Escorrentía y sedimentos ¿cuánto suelo puede llegar a perderse en una campaña?*

A partir de las medidas realizadas se estimó la carga total de sedimentos (pérdida de suelo) en la escorrentía de la campaña, obteniéndose valores preocupantemente altos en las campañas de 2018/2019 y 2021/2022:

Año hidrológico	Carga total de sedimentos estimada (t/ha)
2011-12	0.04
2017-18	5.63
2018-19	<b>18.33</b>
2021-22	<b>11.66</b>

- *Tras periodos secos, los eventos muy intensos no son muy erosivos, como consecuencia de la alta infiltración por las grietas de los suelos arcillosos que dominan la cuenca.*
- *En condiciones húmedas prolongadas, se producen valores elevados de escorrentía y sedimentos.* En los suelos más comunes, vertisoles (alto % de arcillas y grietas), un otoño lluvioso junto a una primavera lluviosa generan valores elevados de escorrentía y sedimentos y, por tanto, un alto riesgo de pérdida del suelo fértil.

## Agroquímicos en la escorrentía

Se analizó la posible presencia de 337 ingredientes activos en la escorrentía de 27 eventos. Se detectaron 41 ingredientes, algunos por encima de límites permitidos en agua potable (la única normativa que hemos encontrado), siendo los más frecuentes:

Herbicidas:	Fungicidas:	Insecticidas:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diflufenican</li> <li>• Fluroxypyr</li> <li>• Metasulfuron-methyl</li> <li>• Glifosato, y su metabolito AMPA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Azoxistrobina</li> <li>• Fludioxonil</li> <li>• Fluopiram</li> <li>• Metalaxil</li> <li>• Tebuconazol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• N,N-dietil-m-toluamida</li> </ul>

Ingredientes poco detectados en los 27 eventos analizados:

### Detectados en 4 a 6 eventos:

- **Herbicidas:** Bentazona, Flazasulfuron, Linuron, Metazacloro, Metribuzina
- **Fungicidas:** Dimetomorf, Flutriafol, Fluxapiroxad
- **Insecticidas:** Dicloroanilina-3,4, Fipronil, Fipronil sulfona, Imidacloprid

### Detectados en 1 a 3 eventos:

- **Herbicidas:** Bromoxinil, Clopyralid, Etofumesato, Imazamox, Oxadiazon, Oxifluorfen, Pendimetalina, Penoxsulam, Prosulfocarb, Quizalofop, Terbutilazina, Tritosulfuron
- **Fungicidas:** Boscalida, Ciproconazol, Epoxiconazol
- **Insecticidas:** Acetamiprid, Clorantraniliprol, Dimetoato, Metiocarb, Piperonil butóxido

- No se encontró una relación entre la concentración de agroquímicos detectada y los parámetros de lluvia o escorrentía. La detección de agroquímicos en el agua de escorrentía parece depender de la coincidencia entre la aplicación y una lluvia posterior, así como de la solubilidad del producto. Si no hay una aplicación reciente de fitosanitarios, que haya una lluvia o una escorrentía más o menos fuerte no influye en la detección de más o menos agroquímicos. Sin embargo, no disponemos de datos sobre fechas de aplicación de los tratamientos en parcela para poder profundizar en estas relaciones y hacer recomendaciones prácticas.

## Funcionamiento de los sistemas de riego por goteo

Uniformidad del riego (%)	
93,9	>95 excelente
86,9	85-95 buena
86,7	80-85 aceptable
80,3	70-80 pobre
73,6	<70 inaceptable
71,8	
71,7	
65,8	
65,4	
59,0	

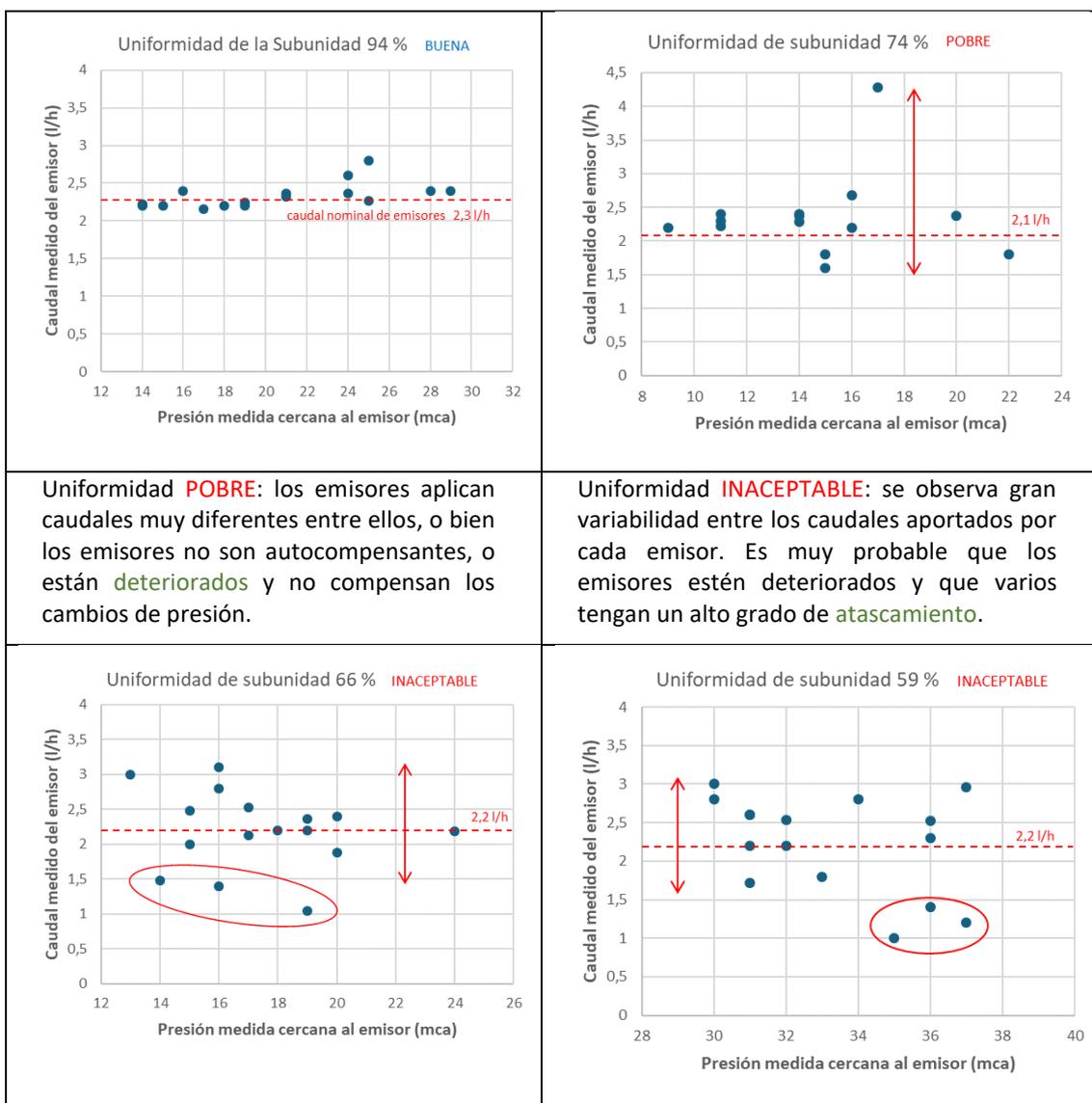
La uniformidad del riego (aplicación del agua de riego de forma pareja en toda la superficie) en las 10 parcelas evaluadas, cada una en una finca, fue muy variable →



Más de la mitad de las parcelas (6/10) tenían una uniformidad de riego pobre, algunas inaceptable. La variabilidad puede deberse al estado del equipo (e.g. material antiguo que no funciona bien), al pobre mantenimiento, al tipo de emisor (gotero) o a un mal diseño que no esté ajustado a la pendiente o superficie. El agua puesta a disposición de los regantes estaba filtrada, pero aún tenía bastantes sedimentos que hacían difícil el trabajo del filtro de los regantes (varios de ellos incluso tenían desconectado el filtro propio para evitar la gran demanda de tiempo de limpiado).

Los emisores autocompensantes aportan el mismo caudal independientemente de la presión en cada punto consiguiéndose entonces una buena uniformidad. La presencia de emisores con bajo caudal (o ninguno) indican precipitación de carbonato cálcico u obturación parcial física, y la necesidad de revisar el sistema. Las precipitaciones se evitan echando ácido.

Una mala uniformidad del riego implica un mal reparto del agua, lo que habitualmente conlleva una pérdida de productividad (menos kg por ha) y un uso poco eficiente del agua. El problema de un mal reparto del agua se suele compensar por parte del regante con un exceso de riego, lo que implica pérdidas excesivas de agua, aumento de los costes energéticos y problemas medioambientales de contaminación difusa. En el contexto actual de escasez de agua, aumento de temperatura y mayores exigencias ambientales, es fundamental evitar un mal uso del agua de riego.



## Recomendaciones

- Tener un buen punto de partida con un buen diseño del sistema de riego: distribución de ramales y tipo de emisores según la superficie y pendiente.
- Disponer de un manómetro de presión a la entrada del sistema de riego (después del filtro y del contador) para comprobar que la presión de trabajo del sistema de riego es la correcta.
- Colocar puntos permanentes de medida de presión en los puntos más desfavorables.
- Revisar a menudo (al menos una vez al mes) el final de los ramales para evitar obturación de los emisores: comprobar hasta qué emisor hay obturación, abrir el final y dejar salir las impurezas, cerrar y comprobar que los emisores funcionan bien. Si el problema es grave, considerar instalar válvulas de descarga.
- Tener equipos en buen estado. Hay que pensar en la pérdida de producción del cultivo si no actuamos sobre el sistema de riego cuando éste está deteriorado. Habitualmente, la disminución de ingresos por pérdida de productividad en el cultivo es muy superior al coste de mantenimiento del sistema de riego.

## Propuestas futuras

- **Guía para autoevaluación del sistema de riego por goteo.** Los resultados presentados en este documento corresponden a evaluaciones realizadas siguiendo los protocolos internacionales que requieren equipos y personal formado. Se propone la elaboración de una guía para una autoevaluación simplificada que pueda indicar al agricultor un mal funcionamiento y posibles errores a corregir.
- **Estudios** para elaborar recomendaciones a partir de una mejor comprensión del impacto del i) manejo del suelo en función de la escorrentía y la cantidad de sedimentos, y ii) manejo de los agroquímicos y su presencia en la escorrentía. Se requieren estudios en los que se monitorice el manejo en campo del sistema y poder hacer recomendaciones para evitar la contaminación difusa de agroquímicos.

**POR FAVOR, ENTRE EN EL SIGUIENTE ENLACE Y RELLENE LA ENCUESTA QUE HEMOS PREPARADO PARA CONOCER SU OPINION SOBRE ALGUNOS DE ESTOS RESULTADOS Y ORIENTARNOS PARA EL FUTURO. NO LE LLEVARÁ MÁS DE 5 MINUTOS. GRACIAS.**

ENLACE: [https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd2\\_2uHMwMkqhl\\_qYiRp7\\_h23qk4a54JEgHFVZtbUAozAY7GA/viewform](https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSd2_2uHMwMkqhl_qYiRp7_h23qk4a54JEgHFVZtbUAozAY7GA/viewform)

*A Luciano Mateos, in memoriam.*

Proyecto de I+D+i PCI2020-112125 *Open innovation Hub for Irrigation Systems in Mediterranean agriculture (HubIS)*, financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la "Unión Europea NextGenerationEU/PRTR".

