ANEJO 12: INFORME DE EVALUACIÓN DE CAUDALES Y DESCARGA DE CONTAMINANTES DE LA ZONA REGABLE

De: Asociación para la Integración de los Servicios de los Ecosistemas (AISECO)

A: CINGRAL, Consultoría de Ingeniería

Informe

Evaluación de caudales y descarga de contaminantes de la zona regable de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan del Flumen en relación con el proyecto de modernización del regadío.

23 Noviembre 2020

Realizado por.

Ricardo Sorando Izquierdo (Licenciado en Ciencias Ambientales), investigador contratado por la Universidad de Valencia (proyecto ….). Es experto en la modelización con SWAT y SWAT-GIS y referencia de estudios en la cuenca del Flumen (Sorando, R., FA Comín, JJ Jiménez, JM Sanchez-Perez, S. Sauvage 2018. Water resources and nitrate discharges in relation to agricultural land uses in an intensively irrigated watershed. Science of The Total Environment. 659:1293-1306 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.023). Participo en los proyectos AMUSE (Análisis MUlti-escalar de los Servicios de los Ecosistemas bajo escenarios de uso del suelopara el desarrollo socioecológico en zonas rurales) y AGUAFLASH (Desarrollo de una metodología para la evaluación de los riesgos de degradación de la calidad del agua en en cuencas agrícolas) de análisis de calidad y procesos en suelos de Monegros norte y de evaluación de servicios ecosistémicos en Aragón. Es profesor invitado de modelización y SIG en el master Gestión sostenible y gobernanza del agua en el medio natural y agrario del IAMZ-CIHEAM de Zaragoza).

Francisco A. Comín Sebastián (Dr. En Ciencias Biológicas). Profesor de Ecología (Universidad de Barcelona 1983-2022); Profesor de Investigación (Instituto Pirenaico de Ecología-CSIC 2002-presente). Ha sido autor y director científico de numerosos proyectos de investigación (Plan Nacional, Europeos) y de restauración ecológica (Creamagua: www.creamagua.com) realizado por la Comarca de Los Monegros. Ha realizado y dirigido numerosos estudios sobre la calidad del agua en Monegros y otros territorios (**Comin F. A**. et al. Floodplain capacity to depollute water in relation to the structure of biological communities. Ecological Engineering 103:301-314; Antigüedad, I., …..**F, A. Comin**, ….2017. A simple multi-criteria approach to delimitate nitrate attenuation zones in alluvial floodplains. Four cases in south-western Europe. Ecological Engineering 103:315-331; Darwiche-Criado N., **F. A. Comín**, et al. 2017. Effects of wetland restoration on nitrate removal in an irrigated agricultural area: The role of in-stream and off-stream wetlands. Ecological Engineering 103:426-435; Darwiche-Criado N., ... **F. A. Comín**...2016. Identifying spatial and seasonal land use impacts on surface water quality of a semiarid Mediterranean basin under irrigated agriculture. Environm. Science & PollutionResearch 22:18626-18636). Ha sido professor de masters en el IAMZ-CIHEAM (Ordenación del territorio en el medio rural; Gestión sostenible y gobernanza del agua en el medio natural y agrario).

ANEXOS

Índice

1 Introducción 1

2 Antecedentes 1

3 Objetivos de este trabajo 5

4 Condiciones y limitaciones de partida 5

5 Consideraciones generales y aplicación del modelo 7

6 Preparación de la información para su uso en el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) 9

7 Aplicación del modelo a los balances generales hídrico y de nitrógeno 12

8 Caudales excedentes de riego antes y después de la modernización del regadío 14

9 Nutrientes 16
9.1 Nitrógeno 16
9.2 Fósforo 19

10 Fitosanitarios 22

11 Conclusiones 25

12 Perspectivas antes diferentes escenarios 26
12.1 Cambio en las superficies de cultivo sin modernización del regadío 26
12.2 Modernización de regadío con reducción del 20% la fertilización 31
12.3 Modificación de la evapotranspiración 34
12.4 Distribución de caudales y nutrientes instantáneos 38

13 Resumen de conclusiones 41

14 Referencias 43

En este documento se ha incluido una modelización de los flujos y características químicas del agua excedente de riego por los 4 desagües de la cuenca de la C.R. Cartuja-San Juan. Se ha utilizado una serie de datos disponible del desagüe de una cuenca anexa (C.R. de Orillena) al norte de la de Cartuja-San Juan. Es lo mejor que se ha tenido disponible para este trabajo. Para una buena modelización de las características de aguas en la cuenca del Flumen sería necesario disponer de datos diarios durante un periodo de varios años debido a la alta variabilidad temporal y espacial de la meteorología y de los usos del suelo. Lo mismo es válido para una buena caracterización de las aguas en la cuenca del Flumen, porque ocurren variaciones de las concentraciones y de las descargas con alta frecuencia (de horas a días). Para ello sería necesario disponer de un equipamiento de toma de muestras en continuo o de registro de datos con alta frecuencia, y de la capacidad analítica y de interpretación de resultados adecuados.

Evaluación de caudales y descarga de contaminantes de la zona regable de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan del Flumen en relación con el proyecto de modernización del regadío.

1 Introducción

Se realiza este trabajo con motivo de la *Resolución de 8 de abril de 2020 de la D.G. de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula informe de impacto ambiental de sometimiento a evaluación de impacto ambiental ordinaria del Proyecto de modernización integral de la Comunidad de regantes Cartuja-San Juan Sectores XII y XIII del canal de Monegros (Huesca)* por la que se resuelve *que es necesario el sometimiento al procedimiento de evaluación ambiental ordinaria el «Proyecto de modernización integral de la Comunidad de regantes Cartuja-San Juan. Sectores XII y XIII del canal de Monegros (Huesca)», ya que se prevén efectos adversos significativos sobre el medio ambiente*.

En dicha Resolución se cuestionan los resultados del Informe *Evaluación de caudales y descarga de contaminantes de la zona regable de la Comunidad de Regantes de Cartuja-San Juan de Flumen*» presentado en el anejo 7 de la documentación ambiental remitida.

Para una correcta interpretación de los resultados del anterior informe y del presente se deben tener en cuenta los aspectos que se relatan en el siguiente apartado.

2 Antecedentes

- Los modelos son software basados en una serie de ecuaciones con la finalidad de simular la realidad. En este caso se ha utilizado Soil and Water Assessment Tool (SWAT), un modelo agro-hidrológico basado en numerosas ecuaciones que, en la mayoría de los aspectos, regulan el ciclo vital de un cultivo.

- SWAT se puede definir, de forma sencilla, como un software para la modelización integral de grandes cuencas, que permite conocer la dinámica hídrica de las cuencas bajo diversos escenarios actuales y futuros, permitiendo una visión holística de la cuenca. Por tanto, SWAT permite caracterizar los procesos físicos que controlan la transformación de la precipitación en escorrentía, a la vez que modeliza caudales, la erosión del suelo y el transporte de sedimentos, así como la movilización de nutrientes y la dispersión de contaminantes, en el conjunto de la cuenca. SWAT realmente es una herramienta que permite evaluar el impacto de las actividades humanas y/o del cambio climático sobre la cantidad y régimen de la producción de agua y sedimentos a escala de cuenca hidrográfica, de subcuenca o de Unidades Hidrológicas de Respuesta (HRU), porciones del territorio con condiciones hidrogeomorfológicas similares). Pero también es un software que se puede usar como herramienta de planificación puesto que permite valorar los efectos de los cambios de uso del suelo, de las actividades de restauración de ecosistemas y de las distintas prácticas de conservación del suelo sobre el conjunto de la cuenca, facilitando la toma de decisiones del gestor.

- De la zona de la Comunidad de regantes Cartuja-San Juan Sectores XII y XIII del canal de Monegros (Huesca) no hay datos que permitan calibrar la modelización. La fase de calibración es esencial en modelización porque permite asegurar la bondad de los datos, el ajuste entre los datos simulados y los reales. Es decir, hacen falta datos reales para realizar una modelización que simule unos datos ajustados a los reales. Para el anterior informe se tomaron como referencia datos propios de concentración de nitratos a la salida del Barranco Salado, en Lalueza (en rojo en Fig. 1) que es una subcuenca donde ya se había hecho la concentración parcelaria y transformación del territorio para aumentar tamaños de fincas y favorecer escorrentías de salida de agua.

No obstante, debe tenerse en cuenta que disponer de datos con el fin de comprobar el estado de las aguas respecto a compuestos contaminantes requiere hacer un planteamiento adecuado al objetivo que se quiere conseguir, requiere ajustar la toma de datos a lo que se quiere conocer. En el caso de agua sobrante del riego agrícola la variabilidad temporal de los datos puede ser alta y la obtención de datos con una determinada frecuencia puede no ser de interés para conocer las características del agua vertida ni el efecto sobre la masa de agua que la reciba por la alta variabilidad temporal de los usos del agua en la cuenca y de los flujos de agua (superficiales y subterráneos). Así, por ejemplo, si la fertilización de los campos agrícolas tiene lugar en unas fechas concretas de forma mayoritaria por la zona de uso agrario, algo muy frecuente, y durante esas fechas o poco después llueve más o menos intensamente, algo también frecuente en la cuenca del Flumen, y los datos obtenidos lo han sido de fechas anteriores, éstos no reflejaran la variabilidad del periodo contemplado. Por lo mismo, si la toma de datos se realiza durante o a los pocos días de fertilizar y de haber lluvias los datos tampoco reflejaran las características del agua saliente de los usos agrarios en los días anteriores a la fertilización y a la lluvia.

- Las concentraciones de los compuestos disueltos y en suspensión en las aguas pueden variar diluidos por el aumento del volumen de agua o concentrados por la disminución del mismo. De igual modo, el flujo de agua puede ser superficial o subterráneo y la diferencia en volumen de flujo entre ambas vías puede estar relacionada con el modo de uso del agua y el tipo de lluvia (por ej.: intensa, prolongada en el tiempo, repetida en pocos días) y, con esta variabilidad, la de las características de las aguas variará también, pero no necesariamente de forma lineal (con alta correlación) sino en forma de histéresis. Los ciclos de histéresis de la relación entre compuestos disueltos en el agua y el caudal en sistemas naturales son muy diversos y, en muchos casos, complejos (Darwiche *et al*. 2015. Seasonal variability of NO_3 mobilization during flood events in a Mediterranean catchment: The influence of intensive agricultural irrigation. Agriculture, Ecosystems and Environment 200:208–218). Por lo que la toma de datos con relativa frecuencia no asegura la utilidad de los mismos para interpretar adecuadamente las características químicas de las masas de agua ni del agua excedente de riego en cuencas agrícolas, especialmente e n zonas con alta variabilidad climática y de usos del suelo. A tal fin es más adecuado utilizar herramientas de modelización que permiten disponer idealmente de datos con la frecuencia que se introduzca en los modelos. La modelización requiere disponer de datos con alta frecuencia (idealmente diarios) o de datos que integren los resultados de muestras tomadas con mayor frecuencia, durante uno o más años para disponer de un periodo de calibración de los datos y otro de calibración de los resultados. Esto requiere unas instalaciones con equipamiento técnico, capacidad analítica e interpretación de resultados adecuados.

- Al no haber datos observados del propio sitio de interés, el modelo y sus resultados resultan no calibrados y no se puede asegurar que **los resultados del modelo** sean próximos a la realidad; no pueden ser, por tanto, tomados como ajustados a la realidad pero **si más ajustados a la realidad que en la anterior modelización por haber utilizado datos de referencia más próximos a la de la zona de interés de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Luan** y para comprobar patrones y cambios de tendencias.

- Las dosis de fertilización aportadas al modelo se obtuvieron de fuentes propias a partir de encuestas y consultas realizadas a agricultores en trabajos anteriores realizados para otros proyectos. Las dosis de fitosanitarios utilizadas se han obtenido a partir de las recomendaciones de uso según los manuales de aplicación de algunos de los fitosanitarios más comunes en el mercado. Se trata, en cualquier caso, de información no contrastada ni verificada con los usuarios de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan.

- **La modelización del primer informe tenía el objetivo de comparar el antes y el después de modernización del regadío, manteniendo los valores de los parámetros que el modelo tiene por defecto y cambiando únicamente tipos de cultivo y dosis de riego**, según la información aportada por CINGRAL (Cuadros 1 y 2).

- Como se ha dicho, para la anterior modelización se tomaron como referencia datos propios de concentración de nitratos a la salida del Barranco Salado, en Lalueza. **Como no hay datos observados en la zona de Cartuja-San Juan no se tuvo en cuenta ni se analizaron los resultados obtenidos desde el punto de vista de calidad del agua resultante**, **Únicamente se comparó el antes y el después de manera que el modelo confirmase y cuantificase las hipótesis de partida de un menor retorno de caudales asociado a una disminución en la dosis de riego, un aumento en el número de días de riego y un aumento en la eficiencia de consumo del agua de riego por parte del cultivo y a un aumento en la exportación de nutrientes asociados al aumento de cultivos más demandantes de fertilización (con especial hincapié en los nitratos y en función de la referencia del Barranco Salado). Fósforo y fitosanitarios no se revisaron ni compararon con ninguna referencia**.

- En el primer informe se decía: *"La utilización de modelos (modelización) para la estimación de variables ambientales es útil y generalizada cuando no se dispone de datos suficientes para la valoración de procesos en el medio ambiente y del estado de sus componentes. Aún en el caso de que se disponga de series de datos temporales y espaciales consistentes, la modelización es útil para la generalización de patrones y atribución de relaciones causa-efecto".* Por tanto, lo que se buscaba son patrones, no datos absolutos, de exportación de caudal, nutrientes y fitosanitarios en los retornos de riego; patrones que permitieran ver posibles cambios asociados a la modernización del regadío.

- Con motivo de la Resolución del informe de impacto ambiental de sometimiento a evaluación de impacto ambiental ordinaria del Proyecto de modernización integral de la Comunidad de regantes Cartuja-San Juan. Sectores XII Y XIII del canal de Monegros (Huesca) **se ha realizado una revisión de la modelización con nuevas referencias de datos de calidad de agua, tomados de información de la Confederación Hidrográfica del Ebro, observados en el aforo del Barranco de las Filadas (en rosa en Fig. 1)**, **que está más cercano y tiene una subcuenca más parecida a la de Cartuja-San Juan y más acorde y comparable con lo que cabría esperar en la zona de estudio**. De nuevo, al no tener datos observados en los azarbes estudiados, los resultados de esta revisión de la modelización no pueden ser tomados como reales ni ajustados por calibración del modelo a la realidad. En este caso aportan información de patrones de calidad del agua antes y después de la modernización con resultados, probablemente, más próximos a la realidad, al utilizar como referencia del modelo datos del aforo existente en el Barranco de las Filadas, más próximo a la zona de interés de la Comunidad de Regantes Cartuja San Juan, los cuales no se disponían en la anterior modelización. En el Anexo 1 están incluidos todos los datos disponibles de este aforo y utilizados de referencia en este trabajo.

- El objetivo técnico de este trabajo sigue siendo la comparación del antes y después de la modernización del regadío revisada con datos de referencias más ajustados a la realidad, no disponibles en la anterior modelización. Se mantienen las dosis de riego y los aportes de fertilizantes y fitosanitarios de la primera modelización (Cuadros 1 y 2), excepto en lo que se vaya a señalar en este trabajo con motivo de la simulación de escenarios o condiciones de cultivo alternativas, que son apartados incluidos en este documento. Y se han añadido otros escenarios para comparar con otras posibilidades de actuaciones de regadío y fertilización.

3 Objetivos de este trabajo

Las cuestiones planteadas fueron:

- *Revisar la modelización realizada en el informe anterior, con especial atención a las concentraciones de los nutrientes y de fitosanitarios (mg/l NO_3, P_{total}, PO_4, terbutilazina y metolacloro) en el agua de los retornos del riego, antes y después de la modernización,* ***tomando como referencia del modelo una serie de datos corta observados en el barranco de las Filadas (Anexo 1) más próximo a la zona de la C.R. Cartuja-San Juan , proveniente de información de la Confederación Hidrográfica del Ebro de la cual no se disponía en la anterior modelización****.*

4 Condiciones y limitaciones de partida

Se parte de la siguiente información sobre las condiciones actuales (idénticas a la anterior modelización) antes de la modernización del regadío:

- **Plano infraestructuras CHE** (En rojo, Acequias principales; en azul, azarbes; y en verde, caminos o carreteras de la CHE
- **GIS parcelario** Cartuja, 2773,2593 ha. (Archivo "20180727_Zona estudio catastro.rar")
- **Cartografía.** Se usó la cartografía procedente de vuelos LIDAR del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA-IGN) (MDS05 de paso de malla 5m).

Cuadro 1. Consumos específicos ACTUALES:

Cultivo	m³/ha y año	Superficie (ha)	m³/año
Alfalfa	12.161,54	831,9778	10.118.128,74
Maíz	9.745,58	831,9778	8.108.103,162
Trigo	4.581,94	1.109,3037	5.082.757,844
TOTAL		2.773,2593	23.308.989,75

Cuadro 2. Volúmenes estimados TRAS EL PROYECTO:

Cultivo	m³/ha y año	Superficie (ha)	m³/año
Alfalfa	10.239,421	1.173,0887	12.011.749,416
Maíz	8.205,300	1.178,6352	9.671.055,062
Trigo	3.857,766	421,5354	1.626.184,838
TOTAL		**2.773,2593**	**23.308.989,317**

Se parte con una escasa o nula disponibilidad de datos observados en la zona objeto de modernización y se ha recurrido a las pocas fuentes de información citadas disponibles en el entorno más próximo. Con respecto a la anterior modelización se han revisado los caudales y concentraciones de referencia para el uso del modelo. En la primera modelización se utilizaron valores propios a partir de muestreos del barraco Salado, en Lalueza, mientras que **en esta segunda modelización se han utilizado como referencia datos de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHEBRO), del aforo 164, situado en el Barranco de las Filadas, que es uno de los desagües o azarbes mayores de subcuencas afluentes al rio Flumen situadas entre Lalueza y la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan. Es una subcuenca más próxima a la de Cartuja-San Juan y solo separada de ésta por la de Orillena-Lanaja** (Fig. 1).

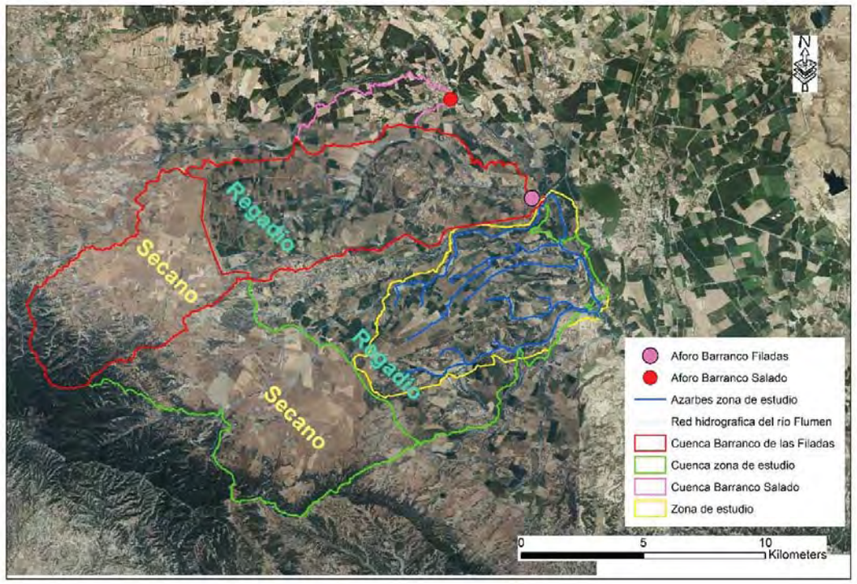


Fig.1 Localización de la zona de estudio en el ámbito nacional y local. Detalle de las subcuencas y red de drenaje de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan del Flumen y subcuencas, red de drenaje y localización de puntos de referencia de las modelizaciones en de los barrancos de Salado y Filadas.

Tampoco hay información de la distribución de las parcelas tras modernización ni el uso y prácticas agrícolas que se llevarán a cabo en cada una de ellas. Se cuenta con información general de lo que está previsto hacer en la zona sin detalle a escala de campo o parcela, lo cual es imposible conocer con detalle porque es atribución de cada agricultor los usos a que se destinen sus fincas y los tratamientos que hagan una vez modernizado el sistema de regadío. En el modelo, **la distribución de tipos de cultivo tras la modernización ha sido realizada al azar, cosa que, sin llegar a suponer un obstáculo para el proceso de modelización de la zona de estudio, puede provocar alteración en los resultados, en caso de que haya grandes diferencias en la distribución de usos con respecto a lo propuesto en la modelización**.

5 Consideraciones generales y aplicación del modelo

La utilización de modelos (modelización) para la estimación de variables ambientales es útil y generalizada cuando no se dispone de datos suficientes para la valoración de procesos en el medio ambiente y del estado de sus componentes. Aún en el caso de que se disponga de series de datos temporales y espaciales consistentes, la modelización es útil para la generalización de patrones y atribución de relaciones causa-efecto.

El modelo utilizado en este caso para evaluar y cuantificar flujos de agua y de nutrientes y pesticidas es el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT) es un modelo muy utilizado en la actualidad, y en expansión, con esta finalidad. Se utilizó el modelo SWAT debido a su capacidad para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo sobre el agua y el suelo en todo tipo de cuencas y territorios, especialmente en zonas complejas y aplicable a largos períodos de tiempo (Arnold *et al.* 1998; Neitsch *et al.* 2005).

Por otro lado, el modelo SWAT puede simular la cantidad y calidad del agua y el crecimiento de los cultivos simultáneamente. Con SWAT, una cuenca o un territorio se divide en sub-cuencas, las cuales se subdividen en Unidades Hidrológicas de Respuesta (HRUS) que son partes del territorio con la misma pendiente, uso de la tierra y características del suelo. Caudal, sedimentos y carga de nutrientes son calculados para cada subcuenca a partir de la modelización de las características de cada HRU y según el concepto de ciclo hidrológico representado en la figura siguiente (Fig. 2), requiriendo conocer o tener o simular datos de las características y procesos señalados en la figura. Con este modelo y partiendo de datos de precipitación, de las características del suelo, distribución espacial de usos y cultivos, gasto de agua y nutrientes y pesticidas, obtenidos de fuentes generales de información, de datos propios de estudios anteriores y los citados más arriba, se pueden estimar los flujos de agua del retorno de riego y los compuestos disueltos en estos flujos de agua en diferentes circunstancias o condiciones como son antes y después de la modernización del regadío en la zona de interés (Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan del Flumen) en Monegros norte.

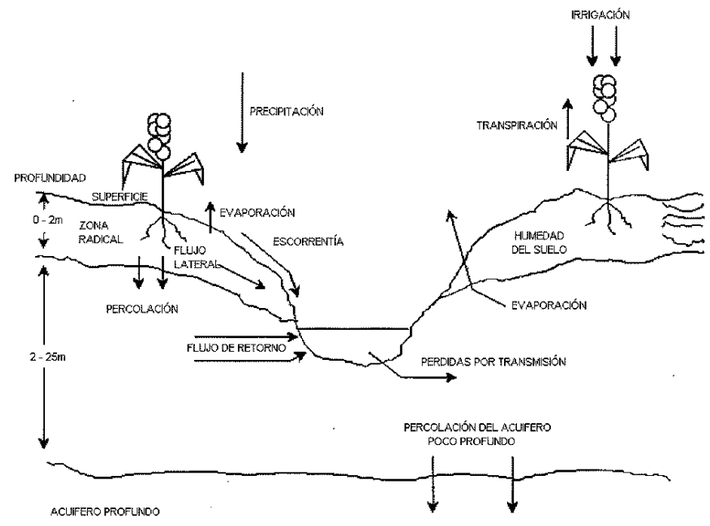


Fig. 2. Representación esquemática del ciclo hidrológico conceptual de SWAT (las cifras son orientativas)

El artículo de Sorando *et al*. (2019), que se refiere a la aplicación del modelo SWAT a la cuenca del rio Flumen (cuenca donde se ubica la zona de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan del Flumen) es referencia de la aplicación de SWAT a zona agrícolas similares. Debe decirse que para cada zona o subzona, y para cada objetivo concreto, debe realizarse la modelización separadamente no siendo extrapolables las estimaciones entre zonas ni entre escalas espaciales o temporales, por la variabilidad de las condiciones del terreno en cada caso.

6 Preparación de la información para su uso en el modelo Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Para la modelización de caudales, nutrientes y pesticidas se han tenido en cuenta los cambios de uso en las parcelas propuestas de modernización de regadío. Y la zona de modelización coincide con el área de actuación del proyecto de modernización del regadío.

Para el trabajo de modelización y cálculo de excedentes de riego antes y después de la modernización del sistema de riego han sido necesarias una serie tareas preparatorias de los datos para su adecuación al formato requerido por el modelo, que han consistido en lo siguiente:

- Delimitación del Modelo Digital del Terreno (MDT05) a la zona propuesta de modernización de regadío para ajustar las subcuencas hidrológicas de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan a la red de drenaje de desagües de riego (Fig.3).

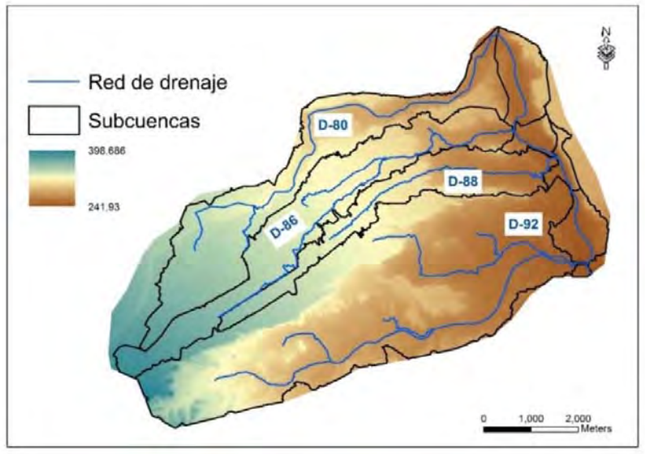


Fig. 3. Delimitación del área de estudio en subcuencas y red de drenaje, a partir del MDT.

- Ampliación del mapa parcelario aportado al MDT y, por consiguiente, a la cuenca generada (Fig. 4).

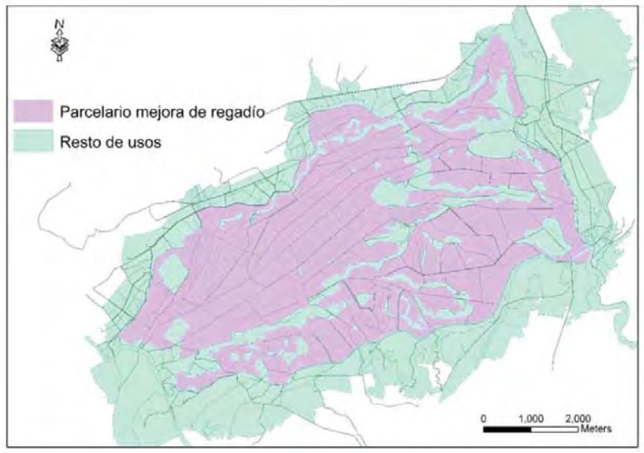


Fig. 4. Mapa de usos utilizado destacando el uso agrícola objeto de modernización de riego y otros usos.

- Reelaboración de los usos agrícolas de la tabla de atributos del plano parcelario para adecuación a los parámetros de entrada del modelo. Únicamente se han asignado labores agrícolas (laboreo, siembra, aplicación de fitosanitarios, fertilizantes y riegos, cosecha y cortes o siegas en el caso de la alfalfa) a los cultivos de maíz, alfalfa y trigo, los propuestos como objetivo de modernización de regadíos. El resto de los usos se han mantenido fijos para no alterar la comparación de los resultados de las modelizaciones de antes y después de la modernización del regadío.
- Distribución aleatoria de cultivos. Debido a la imposibilidad de asignación de cultivos por parcela y año y a la rotación de éstos, se ha procedido a distribuir aleatoriamente los cultivos por la zona de estudio, pero manteniendo las superficies totales actuales y previstas tras la modernización de regadíos, según los Cuadros 1 y 2 (Fig. 5). En el Anexo 2 se detallan las superficies resultantes por cuenca de cada desagüe tras la distribución aleatoria de ocupación por los cultivos antes y después de la modernización del regadío.

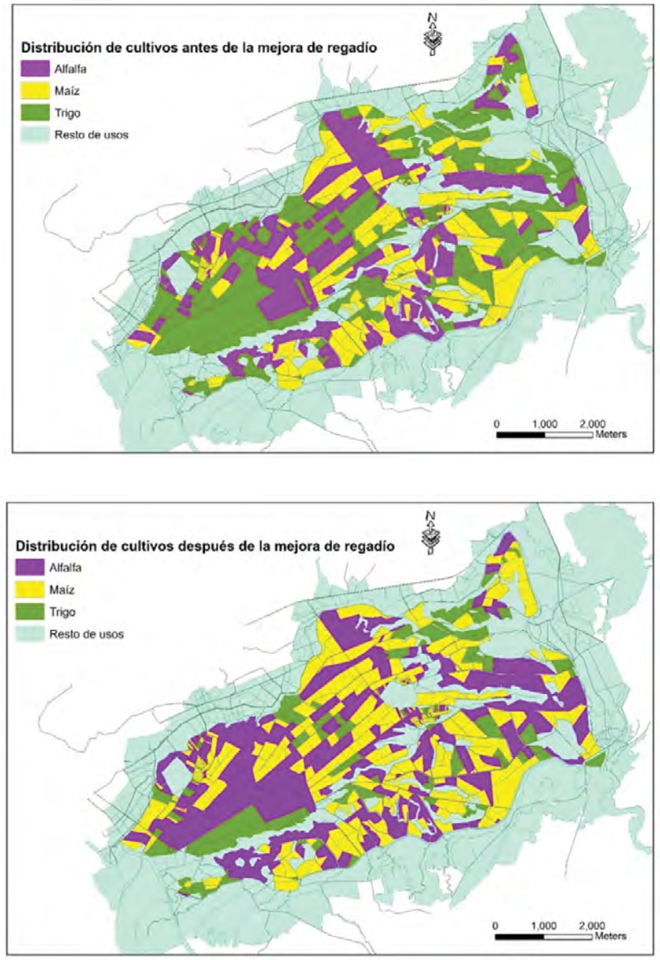


Fig. 5. Cambio en la distribución espacial de los tipos de cultivo de antes (arriba) a después (abajo) de la modernización del regadío.

- Serie climática de ocho años 8 años (2004-2012) que incluye periodos secos, húmedos y de transición. Los resultados reflejan 6 años, dejando los dos primeros como periodo de adaptación del modelo a las condiciones climáticas e hidrogeológicas.
- Labores agrícolas cuantificadas y definidas en el tiempo:
    - Plantación, labores preparatorias del suelo, siembra, mantenimiento y cosecha, según experiencia y consulta a agricultores.
    - Abonado. Las cantidades son diferentes según cultivo:
        - Maíz: un abonado de fondo de 800 kg/ha de 8-15-15 y tres abonados de cobertera de 300 kg/ha de N líquido

        - Trigo: abonado de fondo de 400-500 kg/ha de 8-15-15 y otro de cobertera de 300-250 kg/ha de urea
        - Alfalfa: se suele hacer un abonado de cobertera de 300-500 kg/ha o de urea o NPK (8-15-15 o 8-24-16).
        - Riego: en la actualidad hay dos tipos de riego, a manta y por aspersión. La eficiencia del primero es de un 60 %, mientras que el segundo es del 80 %. El riego a manta se realiza en menos días de riego, pero más cuantiosos, mientras que por aspersión se riega casi a diario durante los meses estivales. Para la distribución temporal a lo largo de la campaña se ha seguido la propuesta del Gobierno de Aragón para cubrir las necesidades netas de los cultivos.
- Datos de suelo. Los modelos agro-hidrológicos son muy sensibles a las variables del suelo y por ello es fundamental, en este punto, aportar información lo más real y detallada posible. Nuestra base de datos (derivada del proyecto de investigación AMUSE-Análisis Multi-escalar de los Servicios de los Ecosistemas bajo escenarios de uso del suelo para el desarrollo socio-ecológico en zonas rurales (Proyecto Retos del conocimiento, Plan Nacional de Investigación del Gobierno de España, CGL2014-53017-C2-1-R). Dispone de información del suelo de la zona de estudio de variables como textura, densidad aparente, contenido en materia orgánica y conductividad hidráulica, entre otras muchas (carbono orgánico, actividad microbiana, emisión de gases de efecto invernadero, etc.). Con ello se reduce la subjetividad de la información aportada al modelo.
- Otro de los parámetros que, por experiencia en este tipo de estudios, se considera relevante para el correcto funcionamiento del modelo es la presencia y profundidad de drenajes. El área de estudio está densamente drenada para exportar el excedente de riego y se estima una profundidad media para toda el área en torno a los 600-900 cm.

7 Aplicación del modelo a los balances generales hídrico y de nitrógeno

Los resultados generales del modelo, muestran, como era de esperar, en el balance general para un ciclo hidrológico un porcentaje elevado de agua que fluye sub-superficialmente por el suelo y drenajes (lateral flow, Fig. 6) hasta alcanzar el río en un ciclo hidrológico caracterizado por la elevada evapotranspiración (ET), la escasa escorrentía superficial y la disponibilidad de agua proveniente de otras cuencas (canal de riego) para uso agrícola (Fig. 6).

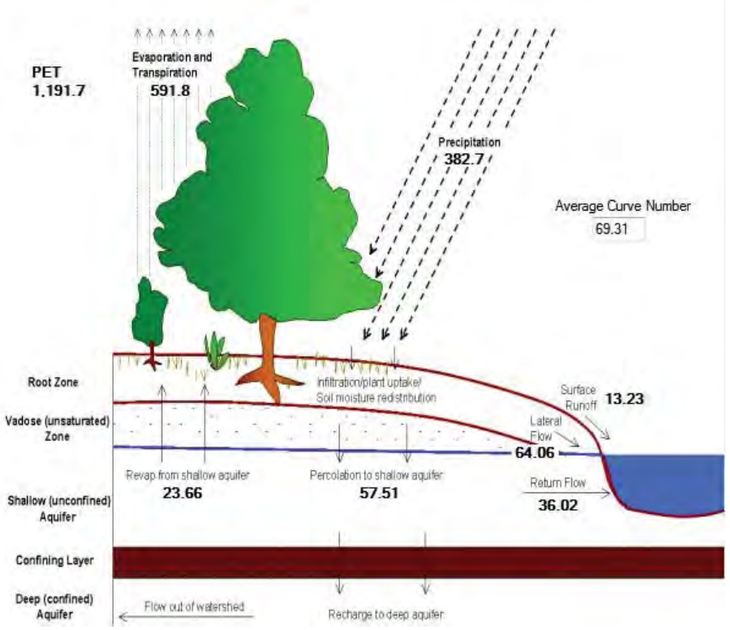


Fig 6. Representación del ciclo hidrológico y del balance hídrico general en la zona de estudio.

En cuanto al ciclo del nitrógeno (Fig. 7), la mayor parte de lo que se aporta por abonado es consumido por la planta, incluso se dan periodos puntuales de estrés vegetal por déficit de nitrógeno. Las pérdidas de nutrientes por disolución y arrastre por el excedente de riego están en torno al 10-15 %, cifra inferior al 20-25 % que suele ser lo habitual en zonas agrícolas intensivas.

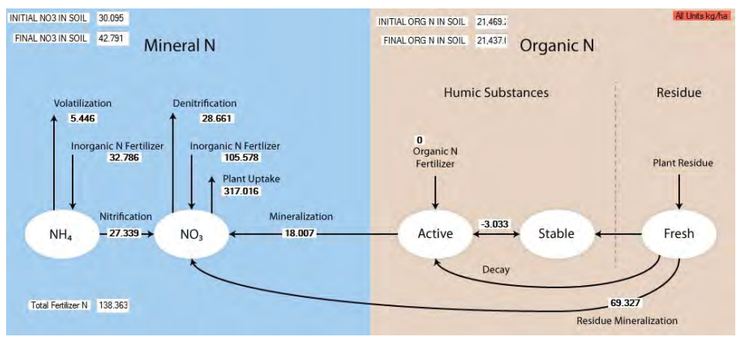


Fig. 7. Ciclo del nitrógeno en la zona de estudio.

8 Caudales excedentes de riego antes y después de la modernización

Debido a que no hay fuentes de datos que permitan validar y calibrar el modelo, el procedimiento seguido ha sido aplicar el modelo con idénticas variables y parámetros ambientales antes y después de la modernización de riegos, pero modificando los usos agrícolas, con reducción de un 38 % de superficie de trigo, en favor del alfalfa y maíz, a partes iguales (según los Cuadros 1 y 2). Este cambio de cultivos va asociado a una cambio de tipo de regadío de 1656 ha (60% de la zona de estudio), que actualmente se riegan a manta, por sistemas de riegos por aspersión.

Con la modernización del regadío se busca sustituir cultivos de cereal por los anteriormente mencionados alfalfa y maíz. Estos cultivos requieren más agua para su producción y, con las actuaciones previstas, no supondría un mayor consumo de agua de riego al mejorar la eficiencia de riego y el aprovechamiento por la planta. En la figura 8 se observa que, excepto en los picos puntuales de caudal de primavera asociados al momento de mayor demanda de agua para riego y algún otro, **el caudal medio mensual a la salida de la Comunidad de Regantes de Cartuja-San Juan es según la modelización inferior después que antes de la modernización del regadío. Expresamos como a la salida de la Comunidad de Regantes el valor total acumulado de salida del caudal de toda la zona regada de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan: es como si el caudal de los 4 desagües se acumulase en uno solo.**

En ANEXOS se detallan los resultados, tanto para caudal como para variables de calidad del agua en cada uno de los desagües de la C.R. Cartuja-San Juan y se ofrecen los datos pormenorizados de cada uno de los apartados de este trabajo.

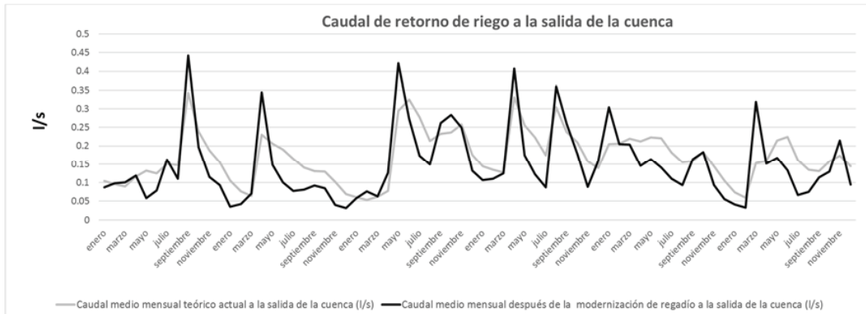


Fig. 8. Caudal medio mensual a la salida de la cuenca antes y después de las actuaciones de modernización de regadío según la modelización.

En el Anexo 3 se detallan los caudales obtenidos en la modelización antes y después de la modernización del regadío en cada uno de los cuatro desagües de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan. Todos los desagües muestran un patrón temporal de variación del caudal similar al de la Fig. 8 y se observa la misma **diferencia entre los caudales de antes a después de la modernización del regadío, una reducción del caudal.**

En los cuatro desagües (Anexo 3) el patrón temporal de variación del caudal sigue un patrón similar con mayores caudales durante la temporada de riego que durante el resto del año. Es bien sabido que en el rio Flumen (por la configuración geomorfológica de su cuenca) los caudales del rio en régimen sin cultivos de regadío en su cuenca serían menores en verano que en invierno por la climatología general de la zona. Pero, después de la puesta en riego en la cuenca del Flumen de grandes extensiones (con agua procede de otras dos cuencas, Cinca y Gállego, separadas del Flumen) y de los aportes de los excedentes de riego al rio Flumen, su caudal suele ser mayor en el llamado periodo de estiaje (verano) que durante periodos considerados lluviosos (otoño-invierno) (Darwiche *et al*. 2015).

Los datos globales para todo el periodo de estudio de 6 años muestran que **hay reducción en la cantidad de agua exportada en los retornos de riego después de la modernización del regadío**, llegando a ser del 17% en el D-92 tras la modernización del regadío, como puede observarse en la tabla del Anexo 3. Para los meses de estiaje (junio a septiembre, de mayor consumo de agua por los cultivos) la reducción llega a ser mayor (Tabla Anexo 3). En conjunto, para toda la zona de modernización y para todo el periodo de 6 años simulados (es decir como si acumulara toda el agua de retorno del riego en un único punto de desagüe) la reducción en el agua desaguada es del 13% y del 21% durante los periodos de estiaje de los 6 años (Tabla 1, **Salida zona de estudio simula como si toda el agua de los 4 desagües saliera por una única salida de la cuenca, "outlet"**).

Tabla 1. Caudales medios de agua (hm^3/mes) de retorno de riego a la salida de la cuenca Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan, simulados para un periodo de seis años de estudio partiendo de los datos meteorológicos del 2004-2010.

	Salida zona de estudio
Volumen de retorno medio mensual teórico actual modelizado (Hm^3/mes)	0.440
Volumen medio mensual teórico modelizado después de la modernización de regadío (Hm^3/mes)	0.380
% de reducción media de los retornos de agua después de la modernización del regadío	**13**
% de reducción media del retorno de agua después de la modernización en periodo de estiaje (junio a septiembre)	**21**

9 Nutrientes

El estudio de los nutrientes se ha centrado en el cálculo de la concentración de las diferentes formas nitrogenadas que están presentes en los abonos y/o versiones transformadas y, también, del fósforo en sus derivados más comunes.

9.1 Nitrógeno

Una modelización fiable requiere de datos para su calibración y validación. Como no hay datos en los azarbes objeto de estudio, en este trabajo **se han utilizados los datos del aforo 164 de la CHEBRO, situado en el Barranco de las Filadas que recoge el agua drenada de una subcuenca próxima a la de la C. R. Cartuja-San Juan**.

Tomando como referencia estos datos del aforo 164 de la CHEBRO (Anejo 1), se han ajustado los parámetros, que según la experiencia de estudios previos (Sorando et al., 2018), son más sensibles en el comportamiento de los nitratos (Tabla 2), tanto en el agua, una vez incorporados a la red de drenaje (principalmente retención de nitratos en el cauce de los desagües y profundidad de drenajes y desagües), como en el momento en que todavía se encuentran en el suelo (coeficiente de la tasa de desnitrificación, umbral o rango de capacidad de campo del suelo a partir del cual se produce la desnitrificación y reducción del nitrato en el acuífero).

Respecto al nitrógeno, se ha centrado en el nitrato porque las otras formas nitrogenadas (amonio y nitrito) son cuantitativamente muy inferiores al nitrato, del orden de entre el 0,1 y el 0,5% de los nitratos. No se han incluido las gráficas de estas formas minoritarias de nitrógeno; los datos se adjuntan en el anexo de datos y resultados de este informe.

Tabla 2. Parámetros sensibles en el proceso de modelización de nitratos.

Acrónimo	**Antes**	**Después**	**Parámetros sensibles en la modelización de nitratos**
SDNCO	1.1	0.5	Contenido de agua umbral para desnitrificación. Fracción de la capacidad de campo respecto al contenido de agua por encima del cual la desnitrificación tiene lugar. La desnitrificación es la reducción de NO^{3-} a las formas gaseosas N_2 o N_2O en condiciones anaeróbicas (reducidas). Debido a que SWAT no sigue el estado de las capas de suelo respecto al redox, la presencia de condiciones anaeróbicas en el suelo es definida por esta variable, el contenido en agua del suelo. Si el contenido en agua del suelo, calculado como fracción de la capacidad de campo, es ≥ SDNCO, entonces se asume que están presentes condiciones anaeróbicas y se modeliza la desnitrificación. Si el contenido en agua del suelo, calculado como fracción de la capacidad de campo, es < SDNCO, entonces se asume que hay condiciones aeróbicas y no se modeliza la desnitrificación Si no se especifica ningún valor para SDNCO, el modelo fija SDNCO = 1.10.

Acrónimo	Antes	Después	Parámetros sensibles en la modelización de nitratos
DRAIN_D	800	1200	Profundidad de drenaje subsuperficial del suelo (mm)
HLIFE_NGW	0	75	Vida media de los nitratos en el acuífero somero (días). El nitrato en el acuífero somero puede ser eliminado por captación por bacterias presentes en el acuífero o por conversión química a otros componentes en zonas del acuífero que carecen de oxígeno (ambiente reducido). La vida media es el tiempo requerido para que la concentración de nitrato disminuya a la mitad de su valor original. La reducción es una reducción neta para todos los procesos que ocurren en el acuífero somero.
CDN	1.4	2.5	Coeficiente de tasa de desnitrificación exponencial. Este coeficiente permite al usuario controlar la tasa de desnitrificación. Valores aceptables de CDN varían entre 0 y 3. Si no se especifica ningún valor, el modelo establece CDN = 1.4.

En la siguiente gráfica (Figs. 9), se muestra la evolución mensual (medias mensuales) a lo largo del periodo simulado de la concentración de nitratos antes y después de la modernización de regadío. En el Anexo 4 se detallan las concentraciones y cargas de nitrato exportadas modelizadas antes y después de la modernización del regadío por desagüe.

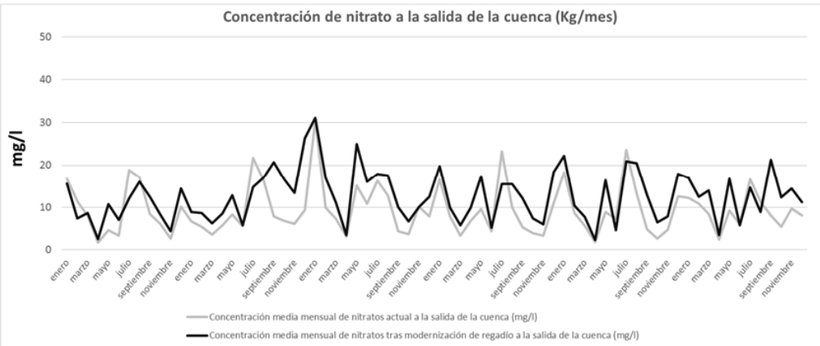


Fig. 9. Concentración media mensual de nitrato a la salida de la cuenca antes y después de las actuaciones de modernización de regadío.

Se observa que:

- Se mantiene en general el patrón temporal de variación de la concentración de nitratos durante los 6 años, **con un mayor número de meses en los que es mayor la concentración en los desagües después de la modernización que antes**. Esto está en consonancia con

A) Caudal: mejor distribución de los riegos tras la modernización del regadío. Aumentan los días de riego pero disminuye la dosis por riego. Esto reduce las pérdidas por escorrentía superficial, subsuperficial y percolación al acuífero somero y facilita su consumo por parte de la planta. Por lo que al reducirse el volumen de agua en el que diluirse los nitratos, éstos aumentan su concentración.

B) Nutrientes: mayor concentración de nitrato a la salida después de la modernización del regadío por i) incremento de superficie dedicada a alfalfa y maíz (Anexo 2), que requieren mayor aporte de fertilización (principalmente maíz). Y, de nuevo, con un menor caudal en el retorno de riego por los desagües, aumenta la concentración de salida debido a la relación inversa entre concentración y caudal.

- Las concentraciones de nitrato son menores que en la modelización anterior, al utilizar unos datos de referencia más realistas y próximos a la zona de interés (Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan), procedentes del aforo de la Confederación Hidrográfica del Ebro en el Barranco de las Filadas (Fig. 1) (Anexo 1).

Las concentraciones de nitrato son algo superiores en la modelización después de la modernización del regadío (Tablas en Anexos, Fig. 9 y Anexo 4) en relación con los mayores requerimientos de abonado de los cultivos más extendidos, maíz y alfalfa, después de la modernización en comparación con antes de la modernización donde hay una mayor extensión del cereal trigo, que requiere menos nutrientes.

En cualquier caso, son valores de concentración de nitratos, los resultantes de la modelización, **después de la modernización del regadío que no superan la concentración de 25 mg/l, valor medio mensual, en la mayor parte del tiempo** (Fig. 9 y anexo 4).

La tabla 3 resume las concentraciones medias mensuales de nitrato en el agua la salida de la cuenca (como si toda el agua de la C.R. Cartuja-San Juan saliera por un solo punto de la cuenca) durante los seis años de modelización considerados tomando como datos meteorológicos de partida los correspondientes a los años 2004-2010. Como se indica en la tabla 3 y se ha comentado anteriormente, la modelización indica que **la concentración media mensual de nitrato queda en un valor relativamente bajo de 12,56 mg/L**.

Tabla 3. Concentraciones promedio mensual (mg/l) y carga media mensual de nitrato antes y después de la modernización del regadío en el agua de retorno de riego a la salida de la Comunidad Cartuja-San Juan del Flumen según la modelización realizada para un periodo de seis años partiendo de los datos meteorológicos del 2004-2010.

	Salida de la cuenca
Concentración media mensual de NO_3- antes de la modernización de regadíos (mg/l)	9.32
Concentración media mensual de NO_3- después de la modernización de regadíos (mg/l)	12.56
Carga media mensual de NO_3- antes de la modernización del regadío (Kg/mes)	911.36
Carga media mensual de NO_3- después de la modernización del regadío (Kg/mes)	1090.26

Las descargas medias mensuales, las cantidades de nitrato que salen mensualmente por término medio a la salida de la cuenca, muestran un patrón temporal similar al de las concentraciones antes y después de la modernización del regadío (Fig. 10, Tabla 3).

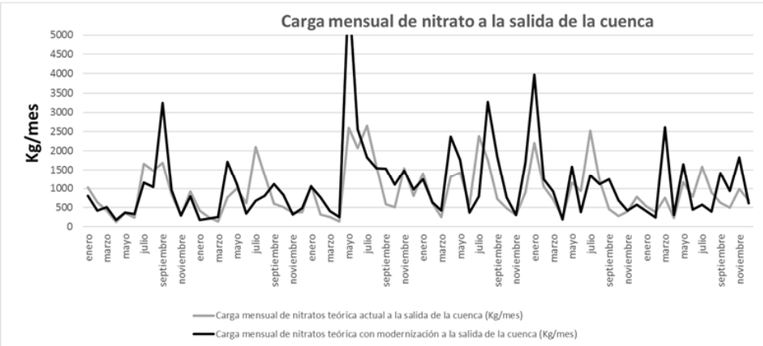


Fig. 10. Descargas mensuales de nitrato por los desagües de la C.R. Cartuja-San Juan antes y después de la modernización del regadío.

9.2 Fósforo

El otro nutriente principal es el fósforo, aquí centrado en el fósforo total, que agrupa las formas de fósforo más fácilmente solubles en agua. El comportamiento del fósforo sigue un patrón temporal similar al del nitrato (Fig. 11). **Muy pocos meses, la concentración media supera 0,4 mg/l, límite entre los rangos de calidad Bueno y Moderado según el R.D. 817/2015 de 11 de septiembre**.

En el Anexo 5 se detallan se detallan las concentraciones y cargas de fósforo total exportadas modelizadas antes y después de la modernización del regadío por desagüe.

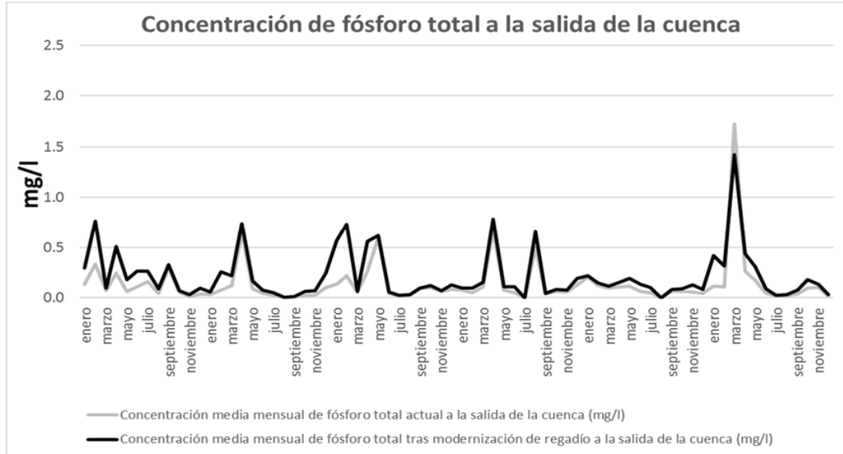


Fig. 11. Concentración media mensual de fósforo total a la salida de la cuenca modelizada antes y después de la modernización de regadío.

En cuanto a la carga, en la figura 12 se observa la relación directa entre exportación de fósforo total y periodos de mayor precipitación (primavera y otoño) con cierta irregularidad temporal debido a la irregularidad estacional de las lluvias.

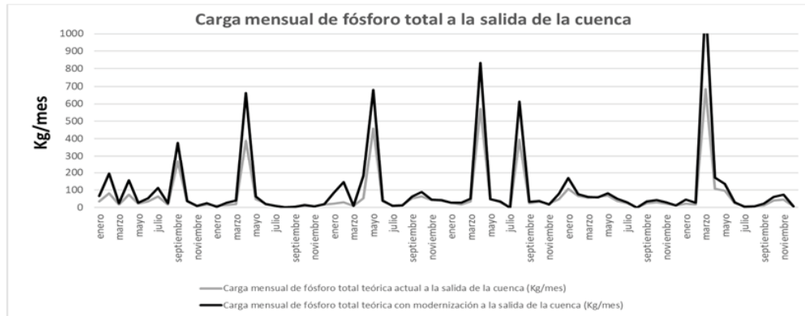


Fig. 12. Descarga media mensual (kg/mes) de fósforo total de toda la zona de la C.R. Cartuja-San Juan durante el periodo de modelización (es una simulación en la que la descarga de los cuatro desagües se acumula en una sola salida -outlet- de la zona).

La siguiente tabla 4 muestra la concentración media mensual y la descarga media mensual de fósforo total en el agua excedente de riego a la salida de la cuenca de la C.R. Cartuja-San Juan durante los seis años de modelización considerados tomando como datos meteorológicos de partida los correspondientes a los años 2004-2010. Destacamos que estos datos son orientativos de cierta proximidad de los mismos a datos reales y, en este sentido, que son **concentraciones de fósforo total que, al igual que para los nitratos, quedan entre los rangos de calidad del agua clasificados como Bueno-Muy Bueno según el R.D. 817/2015 de 11 de septiembre**, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

Tabla 4. Concentraciones promedio mensual (mg/l) y carga promedio mensual (kg/mes) de y fósforo total en el agua de retorno de riego de los cuatro desagües y en conjunto a la salida de la Comunidad Cartuja-San Juan del Flumen según la modelización realizada para un periodo de seis años partiendo de los datos meteorológicos del 2004-2010.

	Salida de la cuenca
Concentración media mensual de fósforo total antes de la modernización de regadíos (mg/l)	0.14
Concentración media mensual de fósforo total después de la modernización de regadíos (mg/l)	0.21
Carga media mensual de fósforo total antes de la modernización de regadíos (Kg/mes)	68.06
Carga media mensual de fósforo total después de la modernización de regadíos (Kg/mes)	105.72

En la comparación general de las concentraciones de nitrato y fósforo total se observa (Tabla 5) que el incremento de concentración después de la modernización es significativo al nivel de significación del 5% en todos los desagües (es decir, es muy poco probable que el conjunto de datos de concentraciones de nitratos y fósforo total sea igual antes y después de la modernización del regadío; es decir, que es muy probable que las concentraciones resultantes de la modelización después de la modernización sean superiores a las de la modelización antes de la modernización) (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación de valores medios entre variables antes y después de la modernización de riegos (t test) con un nivel de significación del 5%. Se indican con fondo azul las variables y azarbes para los que no son, en general, significativas las diferencias y con fondo blanco las que son significativas.

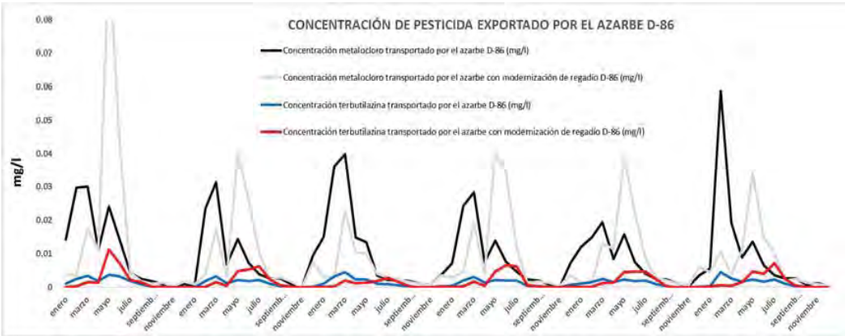
DE-SA-GÜE	Test de comparación de medias y desviación estándar	Caudal medio mensual actual (l/s)	Caudal medio mensual tras la modernización (l/s)	Concentración media mensual de nitratos actual (mg/l)	Concentración media mensual de nitratos tras la modernización (mg/l)	Concentración media mensual actual de fósforo total (mg/l)	Concentración media mensual de fósforo total después de la modernización (mg/l)	Concentración media mensual actual de metaloclo-ro (mg/l) (	Concentración media mensual de metalocloro después de la modernización (mg/l)	Concentración medi amensual actual de terbutilazina (mg/l)	Concentración media mensual dde terbutilazina después de la modernización (mg/l)
D-80	t-test (p valor)	0.034865		5.9061 e-08		1.6322 e-08		0.10932		0.00982	
D-86	t-test (p valor)	0.013573		1.2973 e-16		0.00229		0.47124		0.05644	
D-88	t-test (p valor)	0.000016		3.0215 e-07		1.47248 e-06		0.12960		0.48259	
D-92	t-test (p valor)	0.000014		0.00110		7.97867 e-09		0.11789		0.00694	

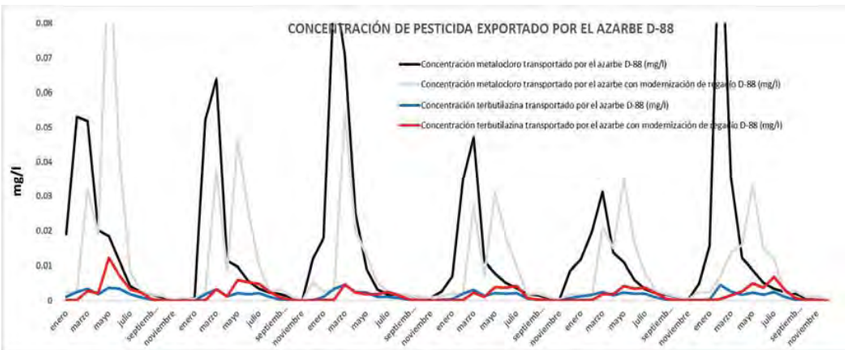
10 Fitosanitarios

La modelización de pesticidas es bastante compleja ya que hay numerosos factores que no son tenidos en cuenta por el modelo y que afectan la vida útil de los fitosanitarios, como eventos climáticos repentinos como lluvias intensas o fuertes rachas de viento. Salvo excepciones puntuales, como el pico de exportación de metalocloro después de la modernización del regadío en todos azarbes en mayo-junio del primer año modelizado o algún que otro pico puntual, a lo largo del periodo de estudio, se observa una tendencia similar de concentración en el agua de los cuatro desagües, de metalocloro y terbutilazina, asociados a pesticidas, antes y después de la ejecución de las obras de modernización de regadíos, aunque con ligero retardo temporal tras la modernización del regadío.

Como en el caso de los nitratos y fósforo total, los niveles de concentración de pesticidas a la salida de los desagües son, cuantitativamente, menores en esta modelización que en la anterior, siendo más acorde a los datos observados en el aforo del Barranco de las Filadas tomado como referencia en este estudio.

En las siguientes gráficas (Fig. 13) se pueden observar las concentraciones de metalocloro y terbutilazina en los cuatro azarbes que drenan el área objeto de la modernización del regadío en la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan del Flumen, su ciclo anual e interanual con picos primaverales, coincidentes con la puesta en cultivo del maíz. Las variaciones interanuales corresponden a la variabilidad de las condiciones meteorológicas introducidas en el modelo, tomadas como referencia las de los años 2004-2010.





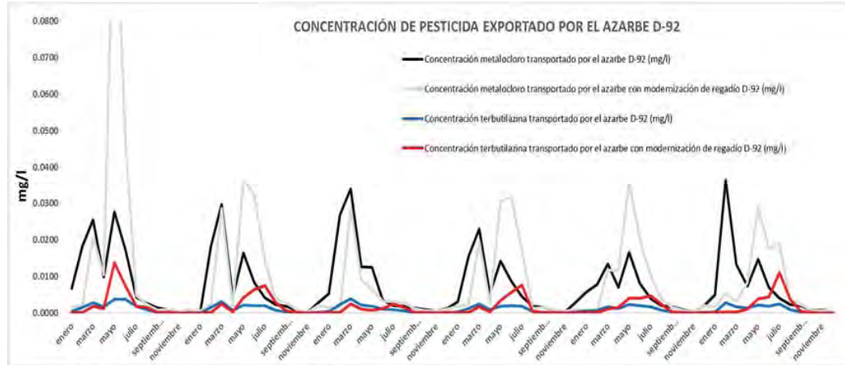


Fig. 13. Concentración media mensual de fitosanitaros (metacloro y terbutilazina) en los desagües de la C.R. Cartuja-San Juan antes y después de las actuaciones de modernización de regadío.

La siguiente tabla 6 resume las concentraciones medias mensuales de metacloro y terbutilazina exportados a través de los desagües durante los de seis años de estudio.

Tabla 6. Concentraciones de fitosanitarios en los retornos de riego simulados para el periodo de seis años de estudio.

	Desagües			
	D-80	**D-86**	**D-88**	**D-92**
Concentración media mensual de metacloro durante el periodo de estudio (6 años) antes de la modernización de regadíos (mg/l)	0.0051	0.0096	0.0140	0.0076
Concentración media mensual de metacloro durante el periodo de estudio (6 años) después de la modernización de regadíos (mg/l)	0.0064	0.0098	0.0108	0.0097
Concentración media mensual de terbutilazina durante el periodo de estudio (6 años) antes de la modernización de regadíos (mg/l)	0.0007	0.0013	0.0018	0.0011
Concentración media mensual de terbutilazina durante el periodo de estudio (6 años) después de la modernización de regadíos (mg/l)	0.0011	0.0017	0.0018	0.0017

Estos datos, aunque solo orientativos de cierta proximidad a datos reales, son para **terbutilazina próximos a la concentración aceptable de 0,001 mg/l (1 µg/l para aguas continentales que indica el R.D. 817/2015 de 11 de septiembre**, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. No así para **metalocloro que mantiene las concentraciones en el rango de antes de la modernización**.

11 Conclusiones

Se ha realizado una modelización del caudal de agua, nitrógeno y fósforo y dos fitosanitarios (metalocloro y terbutilazina) con SWAT. En esta ocasión se ha podido ajustar el modelo a una serie corta de datos de nitratos procedentes de la Confederación Hidrográfica del Ebro y tomados en una estación aforada situada en el barranco de las Filadas que drena una cuenca similar y cercana a la de la Comunidad de Regantes donde se proyecta la modernización del regadío. De manera que, sin llegar a poderse hacer una calibración del modelo, porque se trata de una serie corta de datos, es lógico pensar que **los resultados de esta modelización respecto al nitrato sean más ajustados a los reales** que los de una anterior modelización en la que los datos tomados de referencia fueron del barranco Salado, muy cerca de Lalueza, que drena una cuenca con la concentración parcelaria realizada y alteraciones del territorio que favorecen el drenaje de las aguas.

Se ha observado una **disminución de los caudales de agua del retorno de riego por los desagües tras la modernización** (Tabla 1). Para todo el periodo de 6 años de modelización sería del 8-17% (9-29% si nos limitamos al periodo de junio-septiembre), según el desagüe, del caudal de agua que sale por los desagües antes de la modernización del regadío

Manteniendo las dosis de fertilización, **después de la modernización se prevé un aumento en las concentraciones medias mensuales de salida de nitratos (Tabla 3) pero los valores medios mensuales de nitrato modelizados en los cuatro desagües quedan en el rango 9-17 mg/l.** Respecto al fósforo, después de la modernización se observa una disminución de la concentración media en los desagües D-86 y D-88 y un ligero aumento en los desagües D-80 y D-92. Los rangos de concentración media mensual de fósforo total observados con la simulación en el agua de salida por estos cuatro desagües después de la modernización del regadío quedan en el rango de 0.04-0.38 mg/l. Las medias mensuales de concentración de nitrato (12,56 mg/l) y fósforo total (0,21 mg/l) del conjunto de la Comunidad de Regantes quedan ambas en los **rangos respectivos de calidad del agua Buena del R. D. 817/2015, y muy próxima a calidad Muy Buena (cuyas concentraciones límite superiores son 10 y 0,2 mg/l, respectivamente para nitratos y fosfatos según el R.D. 817/2015).**

Teniendo en cuenta el valor relativo de la aproximación seguida en este trabajo, y la falta de calibración del modelo seguido, en la mayoría del periodo **estudiado los valores medios mensuales de terbutilazina en el agua de retorno de riego por los desagües quedan, salvo en momentos puntuales, próximos al considerado aceptable según el R.D. 817/2015 (1 µg/l, 0,001 mg/l)**. No así el metalocloro que mantiene las concentraciones en el rango de antes de la modernización.

El estado del arte en este tipo de simulaciones y la gran cantidad de variables que se consideran, no permite obtener resultados concluyentes. Se visualizan tendencias.

La reducción del volumen de agua de los retornos puede ser sensiblemente superior a la resultante en esta simulación, debido a que gran número de parámetros no pueden ser estudiados con la profundidad necesaria.

La simulación en materia de fitosanitarios es sumamente compleja y dificultosa. Hay muy pocos datos disponibles.

12 Perspectivas ante diferentes escenarios

Con el fin de simular el posible efecto de distintas posibilidades de manejo del sistema agrario de la C.R. Cartuja-San Juan se pueden plantear diferentes escenarios que pueden permitir entender los resultados de la modelización realizada.

Se incluyen aquí tres escenarios diferentes:

i) **un cambio en los cultivos** como el indicado entre los Cuadros 1 y 2, tanto en extensión de los diferentes cultivos como las dotaciones de agua de riego, pero **manteniendo una superficie del 60% de la Comunidad con riego a manta por inundación y un 40% con riego por aspersión.**

ii) **un cambio en los cultivos** como el indicado entre los Cuadros 1 y 2, tanto en extensión de los diferentes cultivos como las dotaciones de agua de riego y pasando a **riego por aspersión en el 100% de la superficie regable**, pero con una **reducción del 20% de la dosis de fertilización**;

iii) **un cambio en los cultivos como el indicado entre los Cuadros 1 y 2,** tanto en extensión de los diferentes cultivos como las dotaciones de agua de riego, pero ajustando el modelo a las conclusiones que han obtenido estudios realizados del entorno inmediato que calculan un aumento de la evapotranspiración como consecuencia de la modernización del regadío. incrementada en un 18%.

Se centran estas aproximaciones en los nitratos como variable de interés.

12.1 Cambio en las superficies de cultivo sin modernización del regadío.

Con este escenario se pretende discernir si los cambios en los desagües se deben al cambio en el tipo de riego o al cambio en los tipos de cultivo.

En este escenario, se va a considerar la misma alternativa de cultivos, manteniendo sus dotaciones, tanto en la situación actual, como en la situación posterior a la ejecución del proyecto de modernización. Así, las dotaciones y superficies de cultivos para ambas situaciones serán las de la situación TRAS EL PROYECTO, del escenario analizado en los apartados 8 y 9 del presente documento, quedando reflejados en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Consumos específicos ACTUALES y TRAS EL PROYECTO:

Cultivo	m^3/ha y año	Superficie (ha)	m^3/año
Alfalfa	10.239,421	1.173,0887	12.011.749,416
Maíz	8.205,300	1.178,6352	9.671.055,062
Trigo	3.857,766	421,5354	1.626.184,838
TOTAL		**2.773,2593**	**23.308.989,317**

Al igual que en el escenario anterior, se considera que en la situación ACTUAL hay un 40% de la superficie ya modernizada (con riego por aspersión).

Los resultados obtenidos (Fig. 14) reflejan que manteniendo un 60% del área en riego por inundación y un 40% del área en riego por aspersión, los caudales del retorno de riego son, lógicamente, superiores a los de la modernización del regadío cambiando el 100% del área a riego por aspersión. En este último **escenario (100% de riego por aspersión) se llega a reducir el caudal de salida de agua de la comunidad en conjunto hasta casi la mitad (Tabla 7) comparado con la salida de agua sin modernización (60% del área en riego por inundación, 40% del área en riego por aspersión)**. En el Anexo 7 se detallan los resultados por desagües.

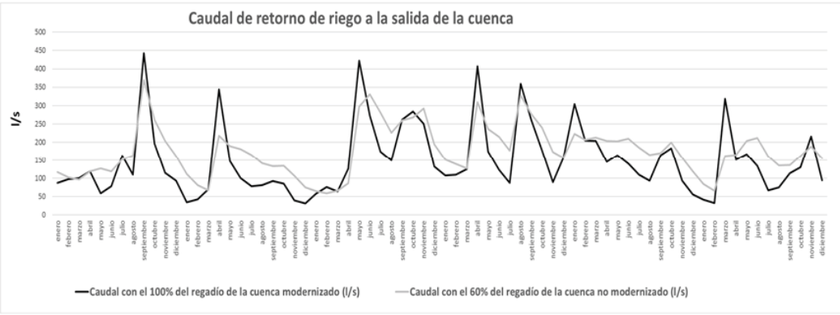


Fig. 14. Caudales de agua a la salida de la C.R. Cartuja-Sam Juan calculados en las siguientes condiciones: **línea negra continua**, 100% de la superficie modernizada con riego por aspersión; **línea clara continua**, 60% de la superficie con riego por inundación y 40% con riego por aspersión (simulación de todo el caudal a un único punto de salida, outlet).

Tabla 7. Volumen promedio de agua (Hm^3/mes) que sale de la C.R. Cartuja-San Juan calculados durante el periodo de estudio

	Salida de la cuenca
Volumen de agua a la salida de la cuenca con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (Hm^3/mes)	0.46
Volumen de agua a la salida de la cuenca con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (Hm^3/mes)	0.27
% Reducción	41

En estas dos simulaciones (que difieren en las superficies regadas por distintos tipos de riego pero no en las superficies cultivadas de alfalfa, maíz y trigo), las descargas y concentraciones medias mensuales de los nutrientes nitrógeno (Figs. 15 y 16; Tablas 8**) y fósforo total son similares** (Tablas 9), excepto para el fósforo en algunos meses cuando se observan picos puntuales (Figs. 17 y 18), quizás asociados a lluvias o riegos intensos antes de la modernización del riego. Se puede afirmar, por tanto, que **los aumentos observados de nutrientes y pesticidas en el apartado 9 y 10 en la modelización correspondiente a cambios en la superficie de los cultivos a favor de maíz y alfalfa en detrimento de trigo y cambio a riego por aspersión en el 100% de la superficie se deben al cambio de cultivos a favor de maíz y alfalfa y no a la modernización del riego.**

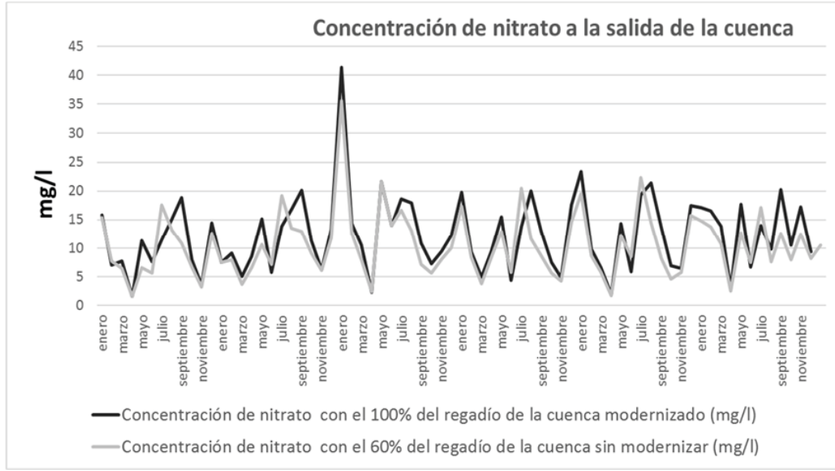


Fig. 15. Concentración de nitratos a la salida de la C.R. Cartuja-Sam Juan calculados en las siguientes condiciones: línea negra continua, 100% de la superficie modernizada con riego por aspersión y línea clara continua, 60% de la superficie con riego por inundación y 40% con riego por aspersión (simulación de todo el caudal a un único punto de salida, outlet).

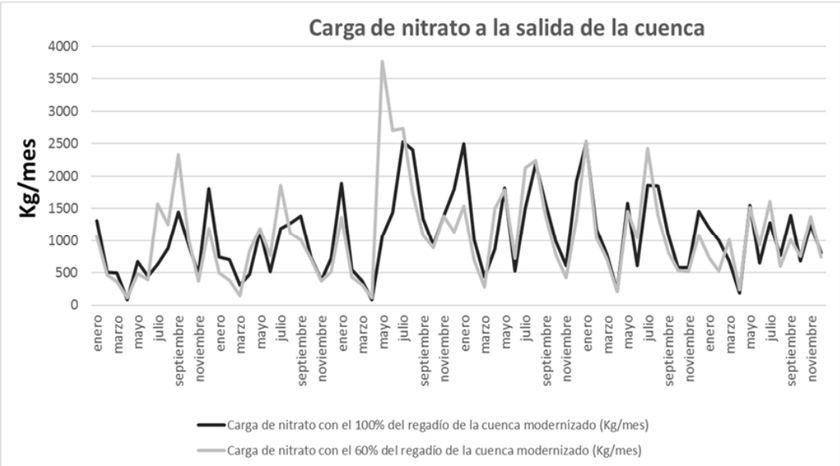


Fig. 16. Carga de nitratos a la salida de la C.R. Cartuja-Sam Juan calculados en las siguientes condiciones: línea negra continua, 100% de la superficie modernizada con riego por aspersión y línea clara continua, 60% de la superficie con riego por inundación y 40% con riego por aspersión (simulación de todo el caudal a un único punto de salida, outlet).

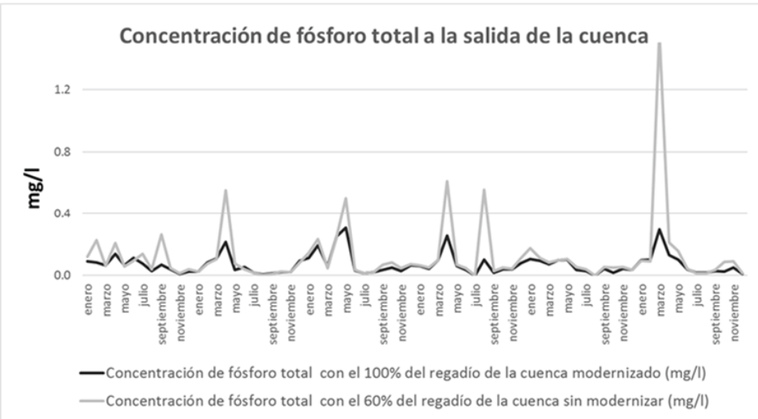


Fig. 17. Concentración de fósforo total a la salida de la C.R. Cartuja-Sam Juan calculados en las siguientes condiciones: línea negra continua, 100% de la superficie modernizada con riego por aspersión y línea clara continua, 60% de la superficie con riego por inundación y 40% con riego por aspersión (simulación de todo el caudal a un único punto de salida, outlet).

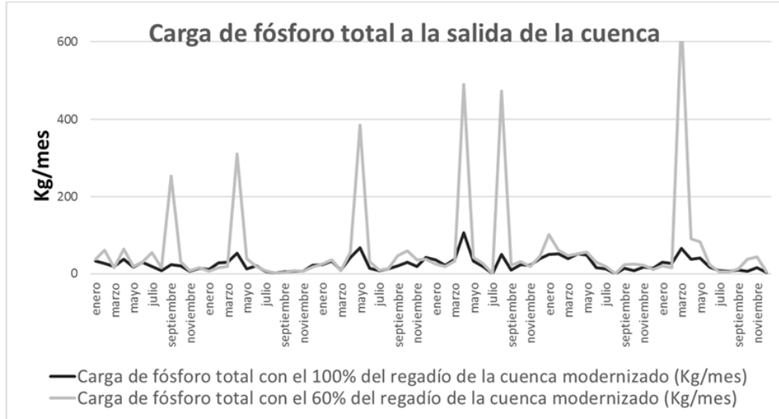


Fig. 18. Carga de fósforo total a la salida de la C.R. Cartuja-San Juan calculados en las siguientes condiciones: línea negra continua, 100% de la superficie modernizada con riego por aspersión y línea clara continua, 60% de la superficie con riego por inundación y 40% con riego por aspersión (simulación de todo el caudal a un único punto de salida, outlet).

Tabla 8. Valores promedio de carga y concentración de nitratos durante el periodo de estudio en dos escenarios: con 100% del riego por aspersión (modernizado) y con 60% de la zona sin modernizar (con riego por inundación). En ambos casos con un cambio de cultivos a mayor superficie de maíz y alfalfa en detrimento de la de trigo (Cuadro 2).

	Salida de la cuenca
Promedio de carga de nitrato con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (Kg/mes)	1066.41
Promedio mensual de concentración de nitrato con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (mg/l)	12.19
Promedio de carga de nitrato con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (Kg/mes)	1074.25
Promedio de concentración de nitrato con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (mg/l)	10.48

Tabla 9. Valores promedio de carga y concentración de fósforo total durante el periodo de estudio en dos escenarios: con 100% del riego por aspersión (modernizado) y con 60% de la zona sin modernizar (con riego por inundación). En ambos casos con un cambio de cultivos a mayor superficie de maíz y alfalfa en detrimento de la de trigo (Cuadro 2).

	Salida de la cuenca
Promedio de carga de fósforo total con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (Kg/mes)	24.49
Promedio mensual de concentración de fósforo total con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (mg/l)	0.07
Promedio de carga de fósforo con 60% del regadío de la cuenca modernizado (Kg/mes)	62.16
Promedio mensual de concentración de fósforo total con 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (mg/l)	0.12

12.2 Modernización de regadío con reducción del 20% la fertilización

Con la disminución prevista de caudales de agua en los retornos de riego es, quizás, conveniente plantear cuales podrían ser los efectos en la salida de nutrientes de una reducción en la dosis de fertilizantes aplicadas a los cultivos. A continuación se muestran los resultados obtenidos de salida de nitrato (Figs. 19 y 20, Tabla 10) y fósforo total (Figs. 21 y 22; Tabla 11) de la zona regable reduciendo un 20 % la dosis de aplicación de fertilizante.

En este escenario de modernización del regadío con reducción de la fertilización se observa una **considerable disminución general de la concentración de nitrato y fósforo total en el agua de retorno de riego a la salida de la cuenca, de la zona regable, de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan al aplicar una reducción del 20% de fertilización** al escenario de después de la modernización del regadío con respecto a antes y a después de la modernización de los regadíos solo. Y muestran la eficacia que puede tener una reducción de los inputs agrícolas en la calidad del agua de retorno de riego.

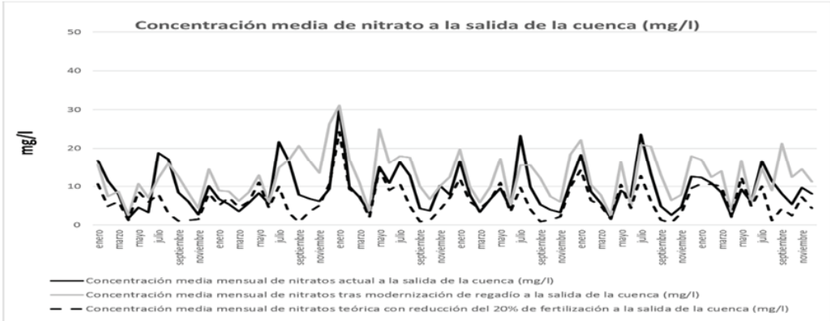


Fig. 19. Concentración media mensual de nitrato a la salida de la zona regable según las modelizaciones: antes y después de las actuaciones de modernización de regadío y en un escenario de reducción de modernización del regadío con un 20 % de reducción de la fertilización.

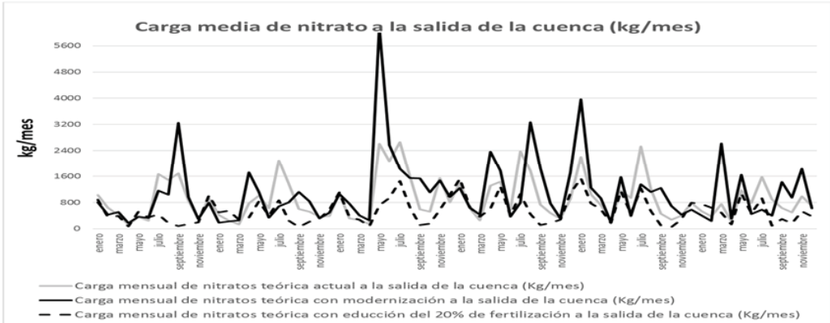


Fig. 20. Carga media mensual de nitrato a la salida de la C.R. Cartuja-San Juan antes y después de las actuaciones de modernización de regadío y en un escenario de reducción del 20% la fertilización

Tabla 10. Concentración y descarga media mensual de nitrato a la salida en conjunto del agua de retorno del riego de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan en tres escenarios: Sin modernización del regadío (60 % de la superficie regable sin modernización del riego); 100% de la superficie con riego modernizado; 20% de reducción de la fertilización en el 100% de la superficie con riego modernizado.

	Salida de la cuenca
Promedio de concentración de nitrato con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (mg/l)	10.48
Promedio mensual de concentración de nitrato con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (mg/l)	12.56
Promedio mensual de concentración de nitrato. Escenario de reducción en 20% el aporte de fertilizante (mg/l)	6.30

	Salida de la cuenca
Promedio de carga de nitrato con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (Kg/mes)	1066.41
Promedio de carga de nitrato con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (Kg/mes)	1074.25
Promedio mensual de carga de nitrato. Escenario de reducción en 20% el aporte de fertilizante (kg/mes)	538.61

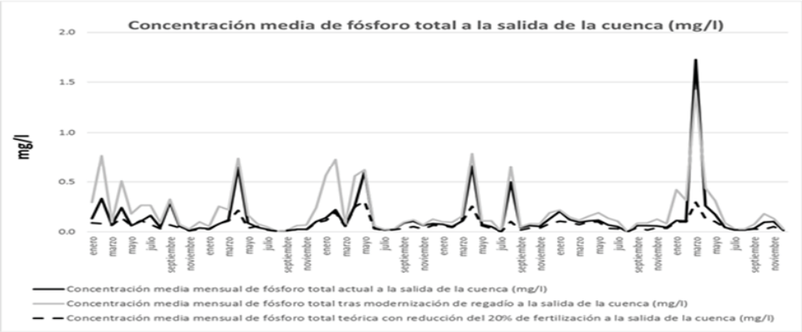


Fig. 21. Concentración media mensual de fósforo total a la salida de la C.R. Cartuja-San Juan antes y después de las actuaciones de modernización de regadío y en un escenario de reducción del 20% la fertilización.

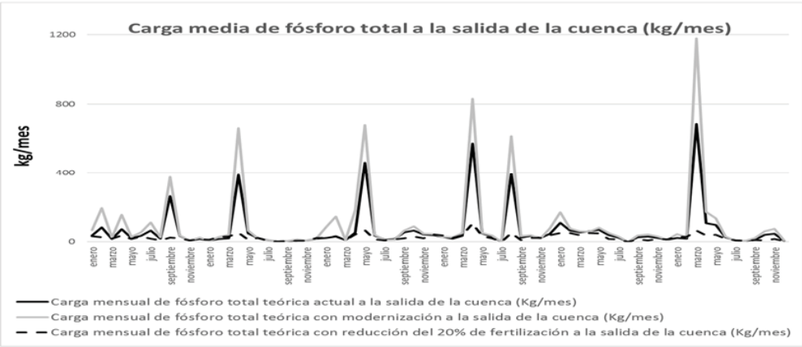


Fig. 22. Carga media mensual de fósforo a la salida de la C.R. Cartuja-San Juan antes y después de las actuaciones de modernización de regadío y en un escenario de reducción del 20% la fertilización.

Tabla 11. Concentración y descarga media mensual de fósforo total a la salida en conjunto del agua de retorno del riego de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan en tres escenarios: Sin modernización del regadío (60 % de la superficie regable sin modernización del riego); 100% de la superficie con riego modernizado; 20% de reducción de la fertilización en el 100% de la superficie con riego modernizado.

	Salida de la cuenca
Promedio de concentración de fósforo total con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (mg/l)	0.14
Promedio mensual de concentración de fósforo total con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (mg/l)	0.21
Promedio mensual de concentración de fósforo total. Escenario de reducción en 20% el aporte de fertilizante (mg/l)	0.07
Promedio de carga de fósforo total con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (Kg/mes)	68.06
Promedio de carga de fósforo total con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (Kg/mes)	105.72
Promedio mensual de carga de fósforo total. Escenario de reducción en 20% el aporte de fertilizante (kg/mes)	24.46

12.3 Modificación de la evapotranspiración

Se ha consultado la documentación transmitida en informe de Riegos del Alto Aragón y la Tesis Doctoral de la Universidad de Zaragoza-CITA-Aragón “Impacto de la modernización del regadío sobre la cantidad y la calidad de los retornos de riego. Unidad de Suelos y Riegos”, autora Mª Teresa Jiménez Aguirre del año 2017, que sugiere que un incremento de la evapotranspiración (de 28 a 34 Hm^3/año) y las pérdidas por evaporación reducen el volumen del agua de riego que se retorna a la cuenca (drenaje) en un 69%. Siguiendo este criterio se ha creado una simulación con aumento del ascenso del agua por capilaridad para su evapotranspiración y, en consecuencia, con una reducción de los retornos de riego, estimada del 30%, siguiendo el patrón obtenido en la documentación acabada de citar.

En los resultados de la modelización de este escenario, se observa con modernización del regadío y un incremento de la evapotranspiración:

- una reducción del caudal de agua de salida (Fig. 23, Tabla 12);

- un ligero incremento de la concentración y descarga de nitratos (Figs. 24 y 25, Tabla 13), ya comentada a propósito del cambio de regadío a 100% de superficie por aspersión, relacionada con la disminución del caudal comentada anteriormente y, de nuevo, mostrando la relación inversa entre el caudal de agua y la concentración de compuestos fácilmente solubles en el agua;

- y una notable reducción de la concentración y descarga de fósforo total (Figs. 26 y 27, Tabla 14), posiblemente asociada a procesos de precipitación de fosfatos al incrementar la evapotranspiración.

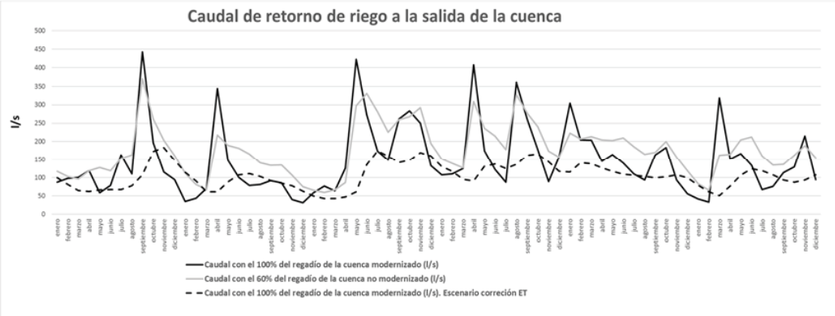


Fig. 23. Caudal medio mensual del retorno de riego (l/s) durante el periodo de modelización en tres escenarios: **línea clara, antes de la modernización del regadío**; **línea negra**, con modernización del regadío; línea discontinua, con modernización e incremento de la evapotranspiración.

Tabla 12. Volumen promedio mensual de agua (hm^3/mes) que sale de la C.R. Cartuja-San Juan estimado en un escenario de modernización del regadío con incremento de la evapotranspiración comparado con el mismo antes y después de la modernización del regadío.

	Salida de la cuenca
Volumen de agua a la salida de la cuenca con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (Hm^3/mes)	0.46
Volumen de agua a la salida de la cuenca con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (Hm^3/mes)	0.38
Volumen de agua a la salida de la cuenca con el 100% del regadío de la cuenca modernizado Escenario de ajuste de la ET (Hm^3/mes).	0.27

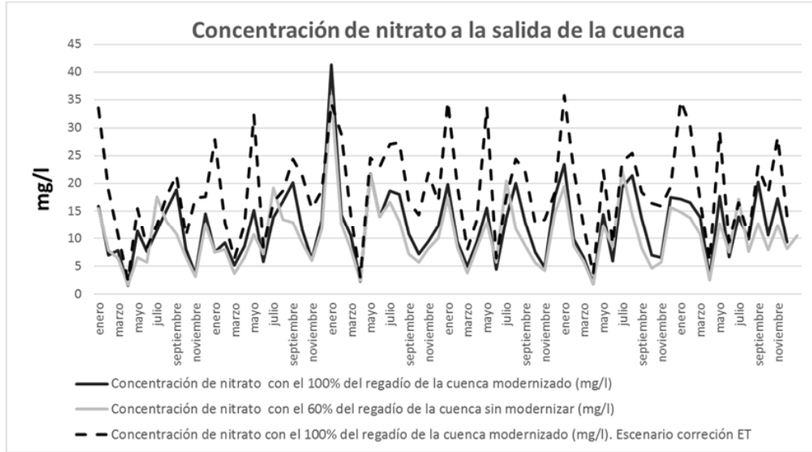


Fig. 24. Concentración de nitrato (media mensual) durante el periodo de modelización en tres escenarios: **línea clara, antes de la modernización del regadío**; **línea negra, con modernización del regadío**; línea discontinua, con modernización y una reducción de la evapotranspiración.

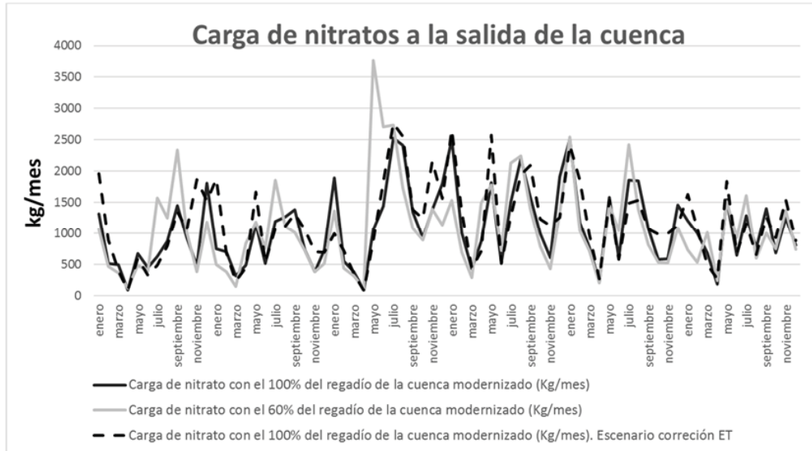


Fig. 25. Descarga de nitrato (media mensual) durante el periodo de modelización en tres escenarios: **línea clara, antes de la modernización del regadío**; **línea negra, con modernización del regadío**; línea discontinua, con modernización y una reducción de la evapotranspiración.

Tabla 13. Valores promedio de carga y concentración de nitrato durante el periodo de estudio en dos escenarios: con 100% del riego por aspersión (modernizado) y con 60% de la zona sin modernizar (con riego por inundación) y con un escenario de ajuste de la evapotranspiración.

	Salida de la cuenca
Promedio de concentración de nitrato con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (mg/l)	10.48
Promedio mensual de concentración de nitrato con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (mg/l)	12.56
Promedio mensual de concentración de nitrato. Escenario de ajuste de la ET (mg/l)	18.60
Promedio de carga de nitrato con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (Kg/mes)	1066.41
Promedio de carga de nitrato con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (Kg/mes)	1074.25
Promedio mensual de carga de nitrato. Escenario de ajuste de la ET (kg/mes)	1162.49

Fig. 26. Concentración de fósforo total (media mensual) durante el periodo de modelización en tres escenarios: **línea clara, antes de la modernización del regadío**; **línea negra, con modernización del regadío**; línea discontinua, con modernización y un incremento de la evapotranspiración.

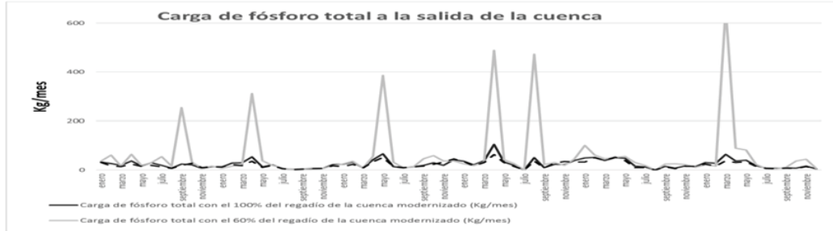


Fig. 27. Carga de fósforo total (media mensual) durante el periodo de modelización en tres escenarios: línea discontinua, **línea clara, antes de la modernización del regadío;** línea negra, con modernización del regadío; línea discontinua, con modernización del regadío y un incremento de la evapotranspiración.

Tabla 14. Valores promedio de carga y concentración de fósforo total durante el periodo de estudio en dos escenarios: con 100% del riego por aspersión (modernizado) y con 60% de la zona sin modernizar (con riego por inundación) y con un escenario de ajuste de la evapotranspiración.

	Salida de la cuenca
Promedio de concentración de fósforo total con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (mg/l)	0.14
Promedio mensual de concentración de fósforo total con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (mg/l)	0.21
Promedio mensual de concentración de fósforo total. Escenario de ajuste de la ET (mg/l)	0.08
Promedio de carga de fósforo total con el 100% del regadío de la cuenca modernizado (Kg/mes)	68.06
Promedio de carga de fósforo total con el 60% del regadío de la cuenca sin modernizar (Kg/mes)	105.72
Promedio mensual de carga de fósforo total. Escenario de ajuste de la ET (kg/mes)	20.44

12.4 Distribución de caudales y nutrientes instantáneos

En las Figs. 31-34 se muestra la relación entre la concentración instantánea de nitrato y el caudal de retorno de riego en los cuatro desagües de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan (Fig. 3). Se observa la típica relación inversa entre la concentración de nitratos y el caudal del agua (al aumentar el caudal de agua, por lluvia o riego o ambos, se diluyen los nitratos en un mayor caudal).

En los apartados anteriores se han referido los datos obtenidos de concentración media mensual. En este caso se trata de datos instantáneos, que pueden tener corta duración. La mayor parte de los casos quedan en la gráfica entre 100 l/s de caudal y 25 mg/L de nitratos. Pocos casos son mayores de 100 l/s y una cierta proporción quedan entre 25 y 50/mg/L. Excepto en el desagüe 92 donde se observan casos de caudales superiores a 400 l/s, en correspondencia con su mayor área de drenaje; y la observación ya comentada de más casos de concentración de nitratos relativamente alta (50-100 mg/L) en los desagües 86 y 90 que se corresponden con los casos de menor caudal (al disminuir el caudal del agua la concentración de compuestos disueltos aumenta). Esto quiere decir que, puntualmente el agua del retorno de riego puede tener concentraciones de nitratos en este rango de valores, aunque ya se ha visto en la modelización general que las medias mensuales son, en general, inferiores a 25 mg/L en los cuatro desagües.

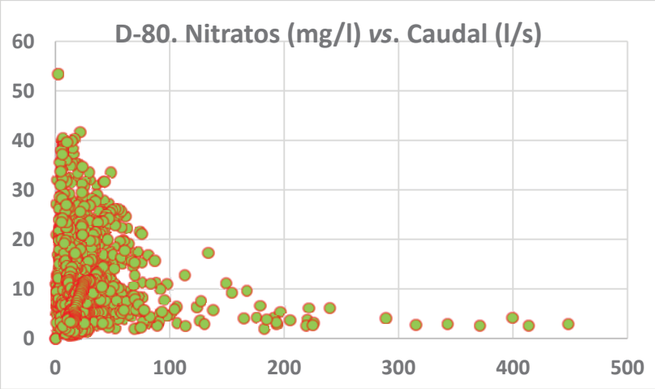


Fig. 28. Relación entre las concentraciones de nitratos y el caudal de agua instantáneas en el desagüe 80 de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan.

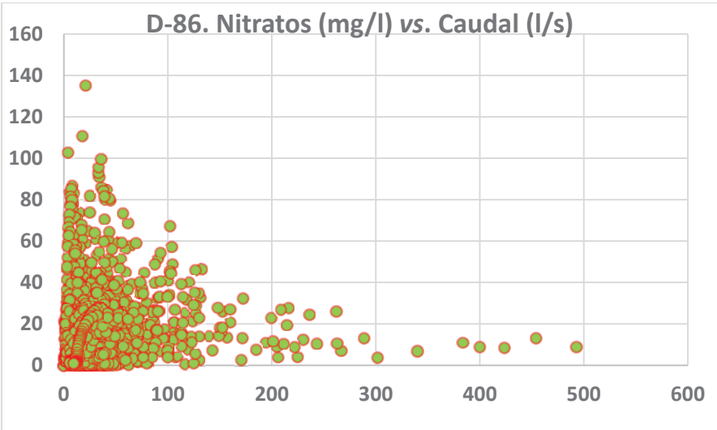


Fig.29. Relación entre las concentraciones de nitratos y el caudal de agua instantáneas en el desagüe 86 de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan.

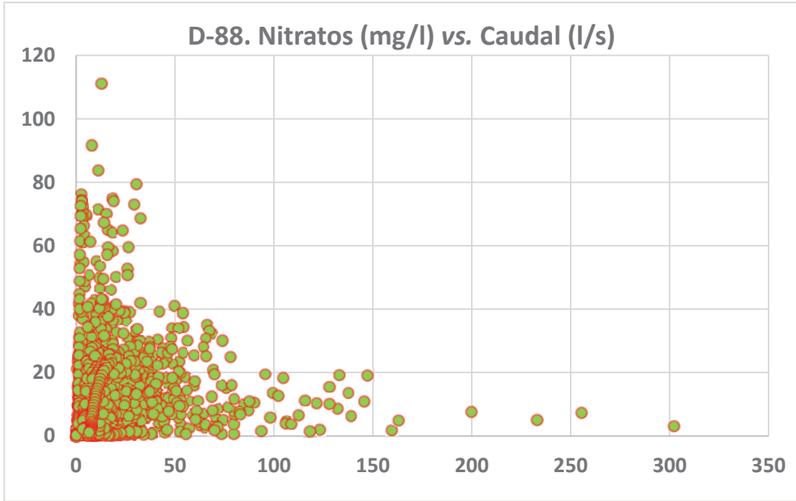


Fig. 30. Relación entre las concentraciones de nitratos y el caudal de agua instantáneas en el desagüe 88 de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan.

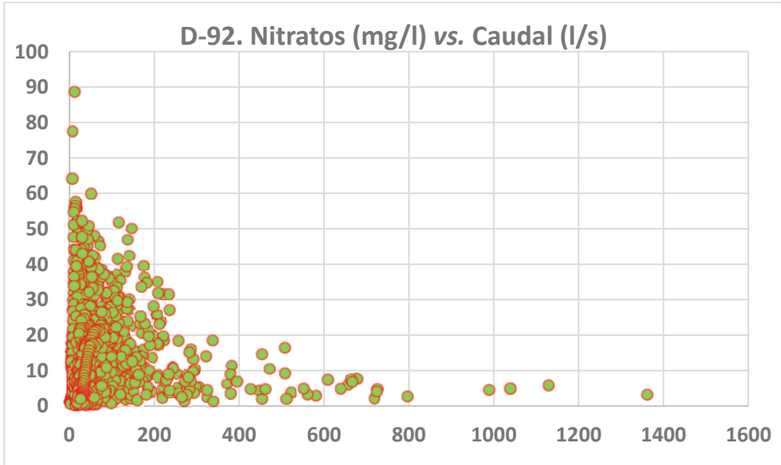


Fig. 31. Relación entre las concentraciones de nitratos y el caudal de agua instantáneas en el desagüe 92 de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan.

13 Resumen de conclusiones

- El presente informe se presenta como un complemento a la solicitud de la modernización de la zona regable de la Comunidad de Regantes Cartuja-San Juan del Flumen con el objetivo de estudiar patrones de cambio del caudal y de la calidad del agua de retorno del riego. Con la información disponible, **los resultados se han de tener en cuenta como una previsión de tendencia de la cantidad y calidad del agua de retorno de riego tras la modernización del regadío, aunque más ajustados a la realidad al haber utilizado en este trabajo datos no disponibles anteriormente del aforo 164 de la Confederación Hidrográfica del Ebro en el barranco de las Filadas que drena una zona más próxima y similar a la de la C.R. Cartuja-San Juan**.
- **La modernización del regadío supondría una disminución del agua en los retornos de riego del 17 %, siendo del 30 % durante el periodo de estiaje respecto a sin modernización del regadío**. Si se tienen en cuenta posibles variaciones del balance hídrico que lleva asociada la distribución espacio-temporal de las dosis de riego (aumento de la ETP, principalmente) la reducción de los retornos de riego podría ser del 30 %.
- Con el cambio de superficie ocupada por los cultivos propuesta, con aumento en superficie del maíz y alfalfa de un 30 a un 42 % de ocupación cada uno, y una disminución de ocupación del cereal de un 40 a un 15 %, la **simulación indica que las concentraciones de nitratos y fosfatos en los desagües del agua de retorno de riego quedarían en el rango de calidad Bueno (inferiores a 25 mg/l de nitratos y algo superiores a 0,2 mg/l de fosfatos) según el R.D. 817/2015 de 11 de septiembre.**
- En cuanto a los fitosanitarios, se observa tras la modernización del regadío un ligero aumento general aunque quedando en un rango similar, muy próximo a 1 microgramo/l en el caso de la terbutilazina (concentración aceptable según el R.D. 817/2015 de 11 de septiembre) y del orden de la concentración actual sin modernización en el caso del metalocloro.
- Las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua de los desagües **no cambian** apenas entre la modelización realizada con el 100% de la superficie de la Comunidad modernizada en riego y la modelización realizada con el 60% de la superficie modernizada en riego, manteniendo en ambos casos las superficies aumentadas de maíz y alfalfa y reducida de trigo. Esto indica que **no es la modernización del riego lo que causa el aumento de la concentración de nutrientes en el agua de retorno del riego**, sino el incremento en las superficies cultivadas de maíz y alfalfa que requieren más fertilizante para su producción.
- Según bibliografía consultada, las dosis de fertilización y fitosanitarios aplicados en la actualidad superan las necesidades de los cultivos para su óptimo crecimiento. La simulación realizada con la **fertilización de los cultivos reducida en un 20% da como resultado una disminución notable de las concentraciones de nutrientes en el agua de retorno de riego con respecto a la situación actual sin modernizar**.

- De la combinación de la reducción en la descarga de agua y el ligero incremento en la concentración de nitrato resultantes después de la modernización del regadío, resulta una apenas apreciable variación en la descarga de nitrato de la Comunidad de Regantes de Cartuja-San Juan en el caso de modernizar el 100% la superficie regable. Con la adopción de buenas prácticas de fertilización inherentes al riego controlado se puede reducir considerablemente la descarga de nitratos de esta Comunidad de Regantes. Con solo el 20% de reducción de la fertilización, la descarga de nitratos puede reducirse a la mitad (Tabla 10).
- Es previsible que esta sea la tendencia en la Comunidad de Regantes de Cartuja San Juan donde ya hay fincas de grandes extensiones dedicadas a la producción de frutos secos con riego por goteo, con un mayor control de las prácticas de riego y de fertilización.
- Según los resultados de la modelización, la modernización del regadío con cambio de tipo de riego y superficies de cultivos supondrá una mejora notable de la calidad del agua si se introducen medidas de ajuste de fertilización a los requerimientos de crecimiento de las plantas para un desarrollo óptimo de los cultivos.
- La intensificación productiva que se está produciendo en toda la zona regable de RAA conllevará un empeoramiento del escenario actual si no lleva aparejada la modernización de su regadío. Los resultados previsibles de la modernización del regadío en la Comunidad de Regantes de Cartuja-San Juan podrían extenderse de forma pionera y sinérgica al conjunto de la zona regable de la cuenca del Flumen provocando un efecto acumulativo de mejora de la calidad del agua en toda la masa de agua del rio.
- El Asesoramiento en materia de fertilización (Código de buenas prácticas agrícolas) es una herramienta clave para reducir la carga de sales exportada con los retornos y atribuible al cambio de cultivos que conlleva la arriba mencionada intensificación.
- Según lo observado con la modelización y descrito en el informe, la modernización del regadío mejora la calidad del agua con respecto al sistema de riego actual ya que estima una reducción de los retornos de riego y de carga exportada de nitratos con un ajuste en la dosis de fertilización (código de buenas prácticas agrícolas), planteado en el escenario 2.
- La dispersión espacial y temporal de los riegos, tras la modernización del regadío, permite dosificar mejor la cantidad de agua de manera que es posible ajustar la cantidad de riego y fertilizante según las necesidades de la planta y, también, adaptar los riegos a las condiciones meteorológicas del momento.
- La modernización del regadío permite controlar y regular, con mayor precisión, cantidades y momentos de riego, de manera que la combinación riego-fertilización se optimice.

14 Referencias

-Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Jha, M. K. (2012). Swat: Model Use, Calibration, and Validation. Asabe, 55(4), 1491–1508. https://doi.org/ISSN 2151-0032

-Darwiche-Criado, N., Comín, F. A., Sorando, R., & Sánchez-Pérez, J. M. (2015). Seasonal variability of NO_3^- mobilization during flood events in a Mediterranean catchment: The influence of intensive agricultural irrigation. Agriculture, Ecosystems and Environment, 200, 208–218. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.002

-Darwiche-Criado, N., Jiménez, J. J., Comín, F. A., Sorando, R., & Sánchez-Pérez, J. M. (2015). Identifying spatial and seasonal patterns of river water quality in a semiarid irrigated agricultural Mediterranean basin. Environmental Science and Pollution Research, 22(23), 18626–18636. https://doi.org/10.1007/s11356-015-5484-5

-Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Srinivasan, R., & Williams, J. R. (2005). Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation, Version 2005. Temple, Tex.: USDA-ARS Grassland. Soil and Water Research Laboratory. Available at: Http://Swatmodel. Tamu. Edu/Documentation, 65(1–3), 139–158. https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90214-7

-Sorando, Ricardo & Comín, Francisco & Jiménez, Juan & Sanchez-Perez, J.M. & Sauvage, Sabine. (2018). Water resources and nitrate discharges in relation to agricultural land uses in an intensively irrigated watershed. Science of The Total Environment. 659. 10.1016/j.scitotenv.2018.12.023.

En Zaragoza, a 23 Noviembre 2020

Ricardo Sorando

Francisco A. Comín

AISECO-Asociación para la Integración de los Servicios de los Ecosistemas.
(Registro Nacional de Asociaciones, Grupo 1º, Sección 1ª, número 604733).

NIF G99398216

c/ Enrique Val 41, 3ºA. 50011Zaragoza