



J. CAUSAPÉ - D. QUÍLEZ - R. ARAGÜÉS
UNIDAD DE SUELOS Y RIEGOS.
SERVICIO DE INVESTIGACIÓN AGROALIMENTARIA (DGA)
Y LABORATORIO ASOCIADO DE AGRONOMÍA
Y MEDIO AMBIENTE (DGA-CSIC)

COMUNIDAD V DE BARDENAS

Optimización agraria y preservación del medio ambiente

El regadío contribuye notablemente al aumento de la producción agraria, permite la diversificación de cultivos y proporciona cosechas más estables. Así, en España, el regadío supone únicamente el 15% de la superficie total cultivada pero contribuye al 60% de la producción agraria total (Fereres y Ceña, 1997).

Sin embargo, la agricultura intensiva de regadío puede provocar importantes afectaciones medioambientales cuya intensidad depende del medio físico y del manejo agronómico de los insumos de producción (agua, fertilizantes, fitosanitarios...). Así, junto a la necesidad de disponer de agua regulada y de sus posibles impactos ambientales y sociales, el regadío puede provocar la contaminación de las aguas de drenaje por sales y agroquímicos, con el consiguiente efecto negativo sobre los sistemas receptores de las mismas (ríos y acuíferos) que podría limitar su uso agrícola, industrial, urbano y ecológico.

El límite admisible de salinidad (conductividad eléctrica, *CE*) en las aguas superficiales destinadas al consumo humano es de 2,5 dS/m (Directiva 98/83/CE). La salinidad del agua también afecta negativamente a procesos industriales y al rendimiento de los cultivos, de tal manera que aguas con una *CE* superior a 3,0 dS/m tienen un grado severo de restricción para el riego (Aragüés y Cerdá, 1998). Asimismo la ingestión de nitrato en cantidades excesivas tiene unos efectos perjudiciales para la salud, provocando en lactantes la enfermedad denominada metahemoglobinemia (Ramos y Ocio, 1993). Por ello, la Unión Europea ha establecido la concentración máxima tolerable de nitrato en el agua potable en 50 mg/L (Directiva 98/83/CE).



El río Riguel a su paso por la Comunidad.

La Comunidad de Regantes nº V (CR-V) se enmarca dentro de Sistema de Riego Bardenas (55.000 ha), puesto en marcha en 1958 con la construcción del embalse de Yesa (470 Hm³). Posee unas 15.000 ha en riego por inundación y 500 ha en riego presurizado que se abastecen con agua del canal de Bardenas de excelente calidad ($CE= 0,33$ dS/m, $[NO_3^-] < 2$ mg/L) para el riego, principalmente, de maíz, alfalfa, cebada, trigo, girasol y hortalizas.

Los suelos más representados son los "sasos" (poco profundos y de limitada capacidad de retención de agua) asociados a los glacis (terrenos de pie de monte) que a su vez constituyen los principales niveles acuíferos. En los glacis inciden valles aluviales con suelos más profundos sobre los que se instala la red de desagües. Los retornos de riego de la zona de estudio y en especial la carga de sales y agroquímicos que transportan pueden contribuir al deterioro de la calidad del río Arba, y en consecuencia del Ebro.

El presente estudio surgió ante la necesidad de compatibilizar la actividad agraria con la conservación y protección del medio ambiente y sus objetivos están encaminados a: (1) identificar y cuantificar los principales problemas de contaminación (sales y nitrato) inducidos por el riego en la CR-V de Bardenas, (2) profundizar en el conocimiento de los procesos que afectan a la cantidad y calidad de los recursos hídricos, y (3) prescribir técnicas apropiadas de manejo del agua y del nitrógeno para el control de la contaminación agraria.

Metodología

Se realizó un seguimiento del sistema agrario (clima, geología, y agronomía) así como de sus aguas superficiales (oct-99/sept-00) y subterráneas (jul-00/sept-01), y se efectuó un análisis detallado de tres cuencas hidrológicas midiendo o estimando las principales entradas y salidas

de agua, sales y nitrógeno (oct-00/sept-01).

Los datos climáticos se obtuvieron de una estación meteorológica automática instalada para este trabajo (mayo de 1999) en el centro geográfico de la comunidad. El estudio edafológico se basó en la apertura de 50 calicatas (invierno de 2000) y la posterior determinación en laboratorio de los parámetros hídricos de los suelos (capacidad de campo y punto de marchitez).

Se analizó la evolución espacio-temporal de la calidad de las aguas superficiales determinando la variabilidad en la conductividad eléctrica (CE) y concentración de nitrato ($[NO_3^-]$) de la red de drenaje y de su principal colector (río Riguel). El estudio en el contenido de sales y nitrato en las aguas subterráneas requirió la elaboración del inventario de pozos de la comunidad y el posterior análisis químico de sus aguas.

El balance de agua, sales y nitrógeno en tres cuencas piloto representativas de la variabilidad geológica y agronómica de la comunidad requirió la construcción de tres estaciones de aforo en los desagües drenantes de estas cuencas que se equiparon con aparatos capaces de medir el caudal y tomar muestras de agua. La cartografía de suelos y cultivos en cada cuenca, los volúmenes de riego aplicados a cada parcela (facilitados por la propia comunidad) y los datos de siembra, fertilización y producción obtenidos a partir de encuestas a los agricultores permitieron cerrar los balances.

En las parcelas que forman parte de las tres cuencas piloto se evaluó la eficiencia en el uso consuntivo del riego durante el ciclo de los cultivos ($EUCA$), el déficit hídrico que sufrieron éstos (DH), y la fracción de drenaje en el año de estudio (FD) mediante las ecuaciones:

$$EUCA = \frac{ET_R}{(R+LL+AU_{siembra})} \cdot 100; DH = \frac{ET_C - ET_R}{ET_C} \cdot 100; FD = \frac{D}{(R+LL+AU_{01/10/00})} \cdot 100$$

ET_R = Evapotranspiración potencial
 ET_C = Evapotranspiración real

AU = Agua útil para las plantas almacenada en el suelo
 R = Riego

LL = Lluvia
 D = Drenaje

Resultados

Los suelos de cultivo son sasos en un 70% y aluviales en un 30%, no presentan problemas de salinidad y son adecuados para la agricultura de regadío. Los únicos problemas están relacionados con la elevada pedregosidad y la presencia de horizontes petrocálcicos («mallacán») que limitan la profundidad efectiva de los sasos y por tanto su capacidad de retención de agua.

El consumo de agua de riego medio fue elevado (en torno a los 1.100 mm en el año 2000), en particular en los sectores con mayor presencia de suelos de *saso* y menor reutilización del agua de los desagües, donde los consumos alcanzaron hasta 1.600 mm. Las mayores dosis de riego se dieron al pimiento (en torno a 1.800 mm), alfalfa (1.500 mm) y maíz (1.100 mm) y las menores al cereal de invierno (490 mm).

En la fertilización nitrogenada la mayoría de los agricultores utilizaron abonos sólidos inorgánicos y tan sólo el 4% utilizaron abonos líquidos (fundamentalmente N32 aplicado en riego por aspersión). El nitrógeno se fraccionó generalmente en dos únicas aplicaciones, la primera en sementera de los cultivos de verano (valores máximos de 380 t N/día en abril) y la segunda en cobertera del maíz (valores máximos de 750 t N/día en junio). Las mayores dosis de nitrógeno se aplicaron al maíz (412 kg/ha) y pimiento (394 kg/ha). En general el nitrógeno aplicado fue superior a las necesidades de los cultivos.

Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas presentaron una salinidad baja-moderada ($CE_{media} =$



Suelos desarrollados en la Comunidad.

0,90 dS/m) y una concentración de nitrato elevada ($[NO_3^-]_{media} = 96 \text{ mg/L}$) aunque no superior a la de otros sistemas agrarios de similares características. El acuífero de Miraflores (Oeste de la comunidad) y el aluvial del Riguel presentaron valores mayores que el acuífero de Miralbueno (Este de la comunidad) ya que en éste último se produce un efecto de dilución derivado de su recarga por filtraciones del Canal de Bardenas.

Aguas superficiales

Las aguas de la red de desagües presentaron unos valores de salinidad y concentración de nitrato ($CE_{media} = 0,87 \text{ dS/m}$ y $[NO_3^-]_{media} = 55 \text{ mg/L}$) inferiores a los de las aguas subterráneas debido al efecto diluyente de escorrentías superficiales menos concentradas. Estas aguas, y en particular las subterráneas, no deben utilizarse para consumo humano dado que frecuentemente superan el límite sanitario de $[NO_3^-]$ establecido en 50 mg/L.

La salinidad y concentración en nitrato de las aguas de la comunidad aumentó en el sentido de los flujos hídricos (hacia el Sur) y en la época invernal (ausencia de riego). En consecuencia las aguas del río Riguel, principal colector del drenaje de la comunidad, mostraron un progresivo empeoramiento de su calidad a medida que discurrieron por el área agrícola de regadío, presentando valores mínimos de CE (0,45 dS/m) y $[NO_3^-]$ (2 mg/L) al inicio de la zona regable durante el período de riego, y valores máximos de CE (1,55 dS/m) y $[NO_3^-]$ (50 mg/L) a la salida de la comunidad en el período de no riego.

Las bajas eficiencias de riego, condicionadas en parte por el sistema de riego y su gestión, y su efecto diluyente provocaron que la CE y $[NO_3^-]$ de las aguas de drenaje fueran menores en la estación de riego (0,77 dS/m y 43 mg/L) que en la de no riego (1,07 dS/m y 79 mg/L). Asimismo, el riego provocó mayores caudales circulantes por los cursos fluviales y mayores alturas del nivel freático de los acuíferos en los

meses estivales. Por ello, a pesar de que los mayores valores de CE y $[NO_3^-]$ del Riguel a la salida de la comunidad se presentaron en invierno, las mayores masas exportadas de sales (máximos de 450 t/día) y nitrato (máximos de 18 t/ha) se alcanzaron en verano.

La clasificación de los desagües (análisis Cluster) según su CE y $[NO_3^-]$ agrupó a éstos en cuatro grupos de distintas características asociados a: (1) el glacis de Miralbueno (CE bajas y $[NO_3^-]$ altas); (2) el glacis de Miraflores (altas CE y $[NO_3^-]$); (3) los valles con cultivos herbáceos y arroz (bajas CE y $[NO_3^-]$) y (4) los desagües que drenan cuencas con características de los otros tres grupos (CE y $[NO_3^-]$ intermedias).

Cuencas experimentales

El estudio de las tres cuencas piloto determinó que el mayor volumen de riego (1.400 mm/año) se aplicó en la cuenca I con mayor proporción de maíz y alfalfa (81% de la superficie cultivada), suelos muy permeables (100% de *saso*) y riego por inundación (100% de la superficie). En consecuencia, en esta cuenca se obtuvo la menor eficiencia del uso consuntivo del agua (44%), el mayor déficit hídrico (4,6%) y la mayor fracción de drenaje (57%). Por el contrario, el menor volumen de riego (950 mm), la mayor eficiencia en el uso del agua (62%), el menor déficit hídrico (2,0%) y la menor fracción de drenaje (37%) se alcanzaron en la cuenca III con una elevada proporción de suelos de valle (60% de la superficie), riego por aspersión en el 40% de la superficie cultivada y la menor superficie de maíz y alfalfa (48% de la superficie cultivada). Estos resultados ilustran claramente que (1) las características de los suelos, (2) el sistema y manejo del riego y (3) las necesidades hídricas de los cultivos son las tres variables más importantes que determinan la calidad del riego y el volumen de sus flujos de retorno.

A pesar de los elevados volúmenes de drenaje (entre 1.113 y 495 mm según

cuencas), la concentración (entre 423 y 693 mg/L según cuencas) y la masa de sales (entre 3,4 y 4,7 t/ha/año según cuencas) exportada por los flujos de retorno del riego en el año hidrológico 2001 fueron bajas o moderadas debido a la baja salinidad del agua de riego y de los suelos.

Las pérdidas de nitrógeno en los flujos de retorno del riego estuvieron directamente relacionadas con los cultivos y el manejo del riego y de los fertilizantes. Así, la cuenca I preponderante en maíz, con riegos muy ineficientes (eficiencia del 44%) y con unas dosis de nitrógeno altas (357 Kg/ha) y escasamente fraccionadas, exportó unas aguas de drenaje con concentración (77 mg/L) y masa de nitrato (195 Kg N- NO_3^- /ha/año) muy elevadas. La cuenca II preponderante en maíz y alfalfa, con riegos ineficientes (eficiencia del 56%) y unas dosis de nitrógeno más moderadas (233 Kg/ha), exportó unas aguas con concentración (58 mg/L) y masa de nitrato (98 Kg N- NO_3^- /ha) elevadas, y la cuenca III con menor superficie de maíz, riegos más eficientes (eficiencia del 62%), dosis de nitrógeno moderadas (203 Kg/ha) y uso del fertirriego (mayor fraccionamiento), exportó aguas con concentración (21 mg/L) y masa de nitrato (23 Kg NO_3^- -N/ha/año) bajas.

La cantidad de nitrógeno que se perdió en los flujos de retorno del riego de estas cuencas representó el 56% (Cuenca I), 44% (Cuenca II) y 16% (Cuenca III) del nitrógeno aplicado, indicando claramente que el buen manejo combinado del riego y del nitrógeno en relación con los suelos y cultivos puede reducir eficazmente la contaminación agraria inducida por la agricultura intensiva de regadío.

Estrategias a seguir

Los principales problemas diagnosticados en la Comunidad de Regantes nº V de Bardenas son el inadecuado manejo



Muestreo de las aguas de drenaje de la Comunidad.

del riego y de la fertilización nitrogenada, especialmente en los suelos de *saso* regados por inundación. En consecuencia, se produjeron (1) consumos excesivos de agua de buena calidad regulada en el embalse de Yesa, (2) estreses hídricos moderados que disminuyeron el rendimiento potencial de los cultivos, (3) importantes mermas económicas derivadas de las elevadas pérdidas de nitrógeno en las aguas de drenaje y (4) afecciones ambientales negativas derivadas de los elevados flujos de retorno del riego con importantes contenidos en nitrato.

Todo ello permite concluir que la sostenibilidad del sistema agrario desarrollado en la comunidad V depende de la ejecución de una serie de actuaciones capaces de incrementar la eficiencia del riego y de la fertilización nitrogenada.

Riego

La mejora en el manejo de los actuales sistemas de riego por inundación puede efectuarse (a) adecuando las infraestructuras de distribución del agua a las demandas hídricas de los cultivos, construcción de embalses de regulación interna, riego a la demanda, (b) optimizando la aplicación en parcela del agua de riego (generalización de la nivelación láser de las parcelas, ajuste del tiempo de corte de agua y (c) mejorando la gestión del riego (estableciendo tarifas progresivas en función del consumo de agua, servicios de asesoramiento al regante).

El cambio a sistemas de riego presurizados es recomendable en los suelos de *saso* muy permeables y/o poco profundos donde las excesivas dosis de agua aplicada con el riego por inundación provocan de forma irremediable elevadas fracciones de drenaje. El cambio a sistemas de riego localizado debe ser considerado especialmente para los cultivos hortícolas cuya rentabilidad podría aumentar considerablemente debido al control del estrés hídrico.

Fertilización nitrogenada

La mejora en el manejo de la fertilización nitrogenada exige ajustar las dosis de los fertilizantes y fraccionar las aplicaciones en función de las necesidades de los cultivos, sobre todo en el maíz y hortícolas. El aporte de nitrógeno a las alfalfas, que supone en torno al 11% del nitrógeno total aportado a la comunidad, puede reducirse drásticamente,

ya que sus necesidades son mayoritariamente cubiertas por fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico.

Es evidente que la optimización de la fertilización nitrogenada sólo es posible mediante la optimización de riego, especialmente en los suelos más permeables y poco profundos (*sasos*). Dado que el lavado de nitratos en estos suelos es incontrolable con el manejo y el tipo de fertilizantes actuales (formas uréicas, amoniacales y nítricas), es necesario modificar las pautas a través del uso de inhibidores de la nitrificación, abonos de liberación lenta y, preferentemente, la generalización del fertirriego (aplicación de fertilizantes en las acequias y a través de los sistemas de riego presurizados).

Reutilización

La acertada política de reutilización del agua de drenaje para el riego, puesta ya en marcha por la comunidad, puede y debe intensificarse dada la baja salinidad y el alto contenido en nitratos de estas aguas. Esta práctica (1) permitiría conservar agua de buena calidad en el embalse de Yesa que asegurase la finalización de las campañas de riego, (2) aumentaría la eficiencia global del riego en el sistema agrario, (3) flexibilizaría los turnos de riego, (4) reduciría el estrés hídrico de los cultivos, (5) ahorraría fertilizantes nitrogenados (hasta un 30% de ahorro en maíz) y (6) reduciría considerablemente las masas de sales y, en particular, de nitratos exportadas por la comunidad.

La reutilización del agua de drenaje puede llevarse a cabo desde los propios desagües o mediante la extracción de agua de los acuíferos. El agua de los desagües puede ser aplicada directamente en parcela, introducida en la red de acequias, o almacenada en embalses internos. El agua de los acuíferos, que actúan como embalses de regulación interna, puede ser bombeada directamente a los sistemas de riego presurizados o puede ser interceptada mediante zanjas perpendiculares al flujo subterráneo e introducida en la red de riego.

Finalmente, el estudio debería extenderse a todo el polígono de riego de Bardenas al objeto de efectuar un diagnóstico global del sistema y de prescribir prácticas de manejo integradoras encaminadas a optimizar la productividad agraria y minimizar la contaminación inducida por la agricultura intensiva de regadío.

Referencias

- ARAGÜÉS R., CERDA A. 1998. Salinidad de aguas y suelos en la agricultura de regadío. Agricultura Sostenible. Mundiprensa ISBN: 84-7114-718-1. pp. 249-274.
- CRUZADO A., VELÁSQUEZ M., BAHAMÓN N., GRIMALDO N., RIDOLFI F. 2002. Nutrient fluxes from the Ebro River and subsequent cross-shelf dispersion. Continental Shelf Research. Volume 22, Issue 2, pp. 349-360.
- Directiva Europea 98/83 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. DOCE L 330 del 5 de diciembre de 1998, p. 32-54.
- FERERES E., CENA F. 1997. Social benefits and environmental constraints of irrigation in an area of water scarcity. Proceedings 18th European Regional Conference «Water –an economic good». Oxford, UK, pp. 128-136.
- QUÍLEZ D. 1998. La salinidad en las aguas superficiales de la cuenca del Ebro: análisis del impacto potencial del regadío de Monegros II. Tesis doctoral, Universidad de Lérida, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo.
- RAMOS C., OCIO J. 1993. La agricultura y la contaminación de las aguas por nitrato. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Hoja divulgadora nº 7/92 HD.