

La contabilidad del agua aplicada al análisis de la modernización de Riegos del Alto Aragón

Por: **S. Lecina¹, E. Playán², D. Isidoro³, N. Zapata², R. Salvador², J. M. Faci³, R. Aragüés³**

¹) Ager ingenieros, Ingeniería Rural y Civil, S.L.

²) Estación Experimental de Aula Dei (CSIC). Departamento de Suelo y Agua

³) Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA). Unidad de Suelos y Riegos asociada al CSIC.

Resumen

En este artículo se aplica la contabilidad del agua, según los conceptos expuestos en "La necesidad de mejorar la contabilidad del agua en el regadío: el caso de la cuenca del Ebro", publicado en la edición 168 de Riegos y Drenajes XXI. La especialización productiva de la zona regable de Riegos del Alto Aragón (RAA) son los cultivos extensivos. En el 73% de sus 123.354 ha de superficie se riega con antiguos sistemas de riego por gravedad, mientras que en el resto se utilizan sistemas presurizados, con un predominio casi total del riego por aspersión. La demanda de agua por unidad de superficie regable es similar en ambos tipos de riego, sin embargo, el consumo de agua es superior en el riego por aspersión, dada su mayor evapotranspiración productiva (cultivos) y no productiva (pérdidas por evaporación y arrastre). La modernización de esta zona regable está sustituyendo el riego por gravedad por la aspersión, manteniendo la producción de cultivos extensivos, aunque con una intensificación de las producciones de alfalfa y maíz. Esto conducirá a un aumento del consumo del agua, y por tanto a una disminución de su disponibilidad aguas abajo de esta zona regable. La disminución de la escorrentía/percolación reducirá las masas exportadas de contaminantes como sales y agroquímicos, mejorando la calidad de las aguas. La productividad económica bruta por unidad de superficie se incrementará, aunque apenas variará la productividad del agua consumida, debido al mantenimiento de los cultivos extensivos y a la adopción del sistema de riego por aspersión.

Palabras clave:

Modernización de regadíos, eficiencia de riego, consumo de agua, contabilidad del agua, gestión hidrológica, cuenca del Ebro, Riegos del Alto Aragón.

La necesidad de mejorar la contabilidad del agua en el regadío: el caso de la cuenca del Ebro", publicado en la edición 168 de Riegos y Drenajes XXI, exponía los fundamentos de la contabilidad del agua, que recogen la distinción entre el uso (demanda) y el consumo del agua, y su capacidad de reaprovechamiento. La consideración de estos aspectos en la evaluación del uso de los recursos hídricos en la agricultura resulta esencial para una adecuada comprensión de las consecuencias hidrológicas del riego y de su modernización en una cuenca. En el artículo que nos ocupa se aplica la contabilidad del agua a la mayor zona regable de la cuenca del Ebro y de la Unión Europea: Riegos del Alto Aragón (RAA). Con ello se pretende poner de manifiesto la capacidad de la contabilidad del agua para generar información más próxima a la realidad, que contribuya a mejorar el proceso de toma de decisiones en la planificación hidrológica.

El sistema de riegos del Alto Aragón

La superficie regable de Riegos del Alto Aragón, entre las provincias de Huesca y Zaragoza, alcanza 123.354 ha, repartidas en un territorio de 2.500 km² situado entre 200 y 425 m de altitud. Dicho territorio se encuentra repartido entre las

subcuencas de los ríos Gállego, Flumen, Alcanadre, Cinca y Ebro. Su clima es semiárido, con una temperatura media de 14,5 °C, y una precipitación media anual que varía entre 300 mm en el sur, y 450 mm en el norte. El sistema dispone de seis embalses de cabecera con una capacidad total de 930,44 hm³, 223 km de canales de transporte, 2.000 km de canales principales de distribución, y 3.000 km de desagües principales. Prácticamente todos los canales y acequias se encuentran revestidos de hormigón. Además del abastecimiento de su regadío, suministra agua a 588 explotaciones ganaderas, 10 polígonos industriales, y 110 núcleos de población, entre ellos las ciudades de Huesca y Barbastro.

RAA se encuentra dividido en 53 comunidades de regantes.

Debido a la antigüedad del sistema y a su paulatina transformación, las infraestructuras hidráulicas son muy heterogéneas, pudiéndose distinguir tres grupos de comunidades: las transformadas de secano a regadío durante los últimos años, con redes de distribución de agua a la demanda y sistemas de riego por aspersión (11.686 ha); 2): las transformadas en los años 80 y principios de los 90, con redes de distribución presurizadas y riego por aspersión, pero cuyos agricultores deben cursar peticiones previas de agua para poder regar (21.168 ha); y las transformadas con anterioridad a los años 80 (90.500 ha)

que se riegan por gravedad, requiriendo también petición previa de agua y que en general presentan una estructura parcelaria más atomizada. Los cultivos extensivos han sido tradicionalmente mayoritarios, evolucionando desde un patrón basado en cereales de invierno a otro en el que los cultivos de verano (maíz y alfalfa), con mayores necesidades hídricas, son predominantes. En la actualidad, una superficie de 52.318 ha está en proceso de conversión a riego por aspersión, o lo ha concluido recientemente. Ello supone el 58% de la superficie regable que se riega por gravedad en esta zona, y el 30% de la superficie total que se va a modernizar en la cuenca del Ebro según el Plan Nacional de Regadíos (PNR). Todo ello está suponiendo una inversión de más de 500 millones de euros. Paralelamente a la modernización de infraestructuras, también se ha avanzado en la modernización de la gestión. En el año 2001 la Comunidad General adoptó el programa ADOR para la gestión diaria en sus comunidades de regantes de base. Las características de este programa, así como su aplicación en RAA, se describen en el artículo "El programa Ador: una herramienta para la mejora de la gestión del agua en las comunidades de regantes" publicado en la edición 134 de *Riegos y Drenajes XXI*.

Material y métodos

En RAA no existe un sistema de recogida de datos específicamente diseñado para aplicar una contabilidad completa del agua. Sin embargo, los resultados de diversos proyectos de investigación realizados en la zona durante los últimos años, y los datos recopilados en el sistema de gestión ADOR, han permitido aplicar la contabilidad del agua al año hidrológico 2002-2003. Este año fue el primero en el que se dispuso de datos de demanda de agua y cultivos en ADOR. Hasta entonces no se había concluido y puesto en servicio ninguna obra de modernización que supusiera un cambio de sistema de riego. Esta campaña puede considerarse como hidrológicamente normal, pues no se produjeron restricciones de agua ni ninguna otra circunstancia que afectase al normal desarrollo de la misma.

Balance de agua: los destinos del agua tras su uso

El balance de agua se estableció en función de los destinos que se le dan al agua tras su uso. La demanda o uso del agua (volumen total disponible) se obtuvo a partir de los datos registrados en el sistema ADOR y en la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Se diferenció entre la demanda en compuerta de canal y la demanda en embalse de cabeza de canal.

El volumen de evapotranspiración productiva se estimó a partir del patrón de cultivos registrado en ADOR, y la metodología de la FAO (Allen *et al.*,

El volumen de evapotranspiración productiva se estimó a partir del patrón de cultivos registrado en ADOR, del que pueden consultarse sus características y aplicaciones en RAA en el artículo "El programa Ador: una herramienta para la mejora de la gestión del agua en las comunidades de regantes", publicado en la edición 134 de Riegos y Drenajes XXI

1998). Para ello se utilizaron los datos meteorológicos de las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología, y los coeficientes de cultivo indicados por Martínez-Cob *et al.* (1998).

En la estimación de la evapotranspiración productiva se aplicó un coeficiente de minoración del 15% sobre la potencial en aquellos cultivos regados por gravedad. Esta menor evapotranspiración productiva se ha observado en estudios realizados en el propio regadío de RAA (Isidoro *et al.*, 2004). En la actualización de estos estudios en la misma zona regable de La Violada (Huesca), se ha obtenido un coeficiente medio de minoración del 23% para el período 1995 a 2008, por lo que la cifra del 15% aplicada en este trabajo es conservadora.

La evapotranspiración no productiva se estimó en función de sus diferentes componentes. La evaporación directa desde las láminas de agua en canales de transporte, y la evapotranspiración de freatofitos próximos a estos canales, se estimó en un 20% de la diferencia entre el volumen de demanda en embalse y en canal (Krinner, 1995). La importancia relativa de estos dos componentes en el balance total es reducida.

Un tercer componente de la evapotranspiración no productiva lo constituyen las denominadas pérdidas de agua por evaporación y arrastre en los sistemas de riego por aspersión. En las comunidades de RAA con este tipo de riego se estimó que el volumen de este componente consuntivo varía entre el 12 y el 20% del agua aplicada, según sus características y las del viento predominante en cada zona. Esta estimación se basó en los proyectos de investigación que al efecto se han llevado a cabo en varias comunidades de RAA por parte de Zapata *et al.* (comunicación personal, 2007), y en otras próximas (Dechmi *et al.* 2003).

La escorrentía/percolación en riego por gravedad se estimó en función de los resultados de balances de agua y evaluaciones de riego en parcela llevadas a cabo en RAA y en la zona del Canal de Bardenas (Causapé *et al.*, 2004; Isidoro *et al.*, 2004; Lecina *et al.*, 2000; Lecina *et al.*, 2007a; Playán *et al.*, 2000). Las áreas estudiadas en estos trabajos comprendían suelos con diferentes tasas de infiltración y capacidades de retención de agua disponible. Estos estudios indican que los volúmenes medios de escorrentía/percolación se sitúan en torno al 50% del agua aplicada. La práctica totalidad de este volumen es de percolación en RAA, ya que el riego por gravedad tiene lugar generalmente en tableros cerrados.

En estas mismas zonas regables una parte de las aguas de escorrentía/percolación es reaprovechada. Dicho volumen de reutilización se estimó en una media del 30% de la demanda de agua en canal de las comunidades con riego por gravedad (Lecina *et al.*, 2007b). En estos volúmenes estarían incluidas las colas de acequias.

En el caso del riego por aspersión, los volúmenes de escorrentía/percolación son mucho más reducidos. Los estudios

En el caso de riego por aspersión, los volúmenes de escorrentía/percolación son mucho más reducidos que en el riego por gravedad. Los estudios realizados indican que el valor de percolación es del 8% del agua aplicada, mientras que en el riego por gravedad se sitúan en torno al 50%

antes indicados realizados en comunidades con este tipo de riego, así como balances llevados a cabo en cuencas experimentales de RAA, dan unos valores de percolación de en torno al 8 % del agua demandada (Tedeschi, et al., 2001; Cavero et al., 2003).

La distinción entre escorrentía/percolación recuperable (aquella en la que la calidad del agua permite su reutilización) y no recuperable (aquella en la que la degradación de calidad impide o limita su reutilización) se realizó en función del destino de estos volúmenes. Diversos balances hidrosalinos y de nitrógeno a escala de sector en RAA y en la zona del Canal de Bardenas (Isidoro et al, 2004; CHE, 2004) indican que casi toda la escorrentía/percolación retorna a los cauces naturales con una calidad que permite su reutilización. En este análisis se considerará que toda el agua de escorrentía/percolación que sale de los límites de RAA puede ser reutilizada. Sin embargo, esta consideración no debe generalizarse, ya que en algunas zonas regables de la cuenca del Ebro el carácter salino de algunos materiales geológicos subyacentes puede hacer que la salinidad de las aguas de drenaje limite su uso.

Asimismo, dentro de los límites de RAA o en sus proximidades, existen pequeñas lagunas saladas como la Laguna de Sariñena, y las "saladas" del sur de Los Monegros. Las aguas de escorrentía/percolación que llegan hasta las mismas no pueden ser reutilizadas para otros usos debido a su naturaleza salina. Se han estimado los flujos de aguas de escorrentía/percolación que estas lagunas interceptan en función de

estudios en algunas de ellas (Castañeda y García-Vera, 2008).

A todos estos volúmenes de escorrentía/percolación se añadieron las denominadas pérdidas operacionales de los canales de transporte, así como las filtraciones de los propios canales. La aportación a la escorrentía/percolación desde estos canales se estimó en el 80% de la diferencia entre el volumen de demandas en embalse y en canal (Krinner, 1995).

Mediante este procedimiento se estableció un balance de agua en cada comunidad de regantes de RAA. Cada uno de estos balances se ajustó a los datos de demanda de agua de la campaña de estudio. En el ajuste de los balances se aplicó la experiencia y el conocimiento adquiridos sobre el funcionamiento de las comunidades de RAA a través de la ejecución del proyecto ADOR antes indicado. Los resultados obtenidos de estos balances se agregaron por subcuencas, y para el conjunto de RAA.

Indicadores

A partir de los componentes del balance, se calcularon una serie de indicadores hidrológicos y económicos. Mediante los mismos se describió la situación previa a la modernización, y se realizaron comparaciones espaciales (entre subcuencas) y temporales (entre la situación del año 2003 y diversos escenarios de futuro). Los indicadores hidrológicos relacionan entre sí los volúmenes de los componentes del balance mediante fracciones:

$$FC = \frac{V_{ETp} + V_{ETnp} + V_{E/Pnr}}{V} \quad [1]$$

$$FNC = \frac{V_{E/Pr}}{V} \quad [2]$$

$$FPT = \frac{V_{ETp}}{V} \quad [3]$$

$$FPC = \frac{V_{ETp}}{V_{ETp} + V_{ETnp} + V_{E/Pnr}} \quad [4]$$

Donde FC es la fracción consuntiva ($0/1$), V_{ETp} es el volumen de la evapotranspiración productiva (m^3), V_{ETnp} es el volumen de la evapotranspiración no productiva (m^3), $V_{E/Pnr}$ es el volumen de la escorrentía/percolación no recuperable (m^3), $V_{E/Pr}$ es el volumen de la escorrentía/percolación recuperable (m^3), V es el volumen de agua demandada (m^3), FNC es la fracción no consuntiva ($0/1$), FPT es la fracción productiva total ($0/1$), y FPC es la fracción productiva consuntiva ($0/1$).

Para describir la producción económica obtenida del uso del suelo y del agua en RAA se utilizaron los indicadores de productividad bruta de la superficie regable y del agua consumida descritos en el artículo publicado en la edición 168 de la revista. El rendimiento de los cultivos se obtuvo mediante encuesta entre los responsables de las comunidades de regantes. Los precios que se consideraron para cada cultivo fueron los indicados por las estadísticas agrarias de la Diputación General de Aragón.

También se estimó el potencial de variación del consumo de agua y de la productividad de la superficie que cada comunidad con riego por gravedad presenta en función de su situación en el año 2003. Para ello se aplicó el Índice Teórico de Variación descrito en el artículo anterior, pero aplicado al consumo total (ITV_{CON}), y el Índice Teórico de Variación de la productividad de la superficie (ITV_{PS}). En ambos casos la diferencia se calculó entre el consumo y la productividad de cada comunidad con riego por gravedad en 2003, y la media de estas dos variables en ese mismo año de las comunidades con riego presurizado:

También se estimó el potencial de variación del consumo de agua y de la productividad de la superficie que cada comunidad con riego por gravedad presenta en función de su situación en el año 2003. Para ello se aplicó el Índice Teórico de Variación descrito en el artículo anterior, pero aplicado al consumo total (ITV_{CON}), y el Índice Teórico de Variación de la productividad de la superficie (ITV_{PS}). En ambos casos la diferencia se calculó entre el consumo y la productividad de cada comunidad con riego por gravedad en 2003, y la media de estas dos variables en ese mismo año de las comunidades con riego presurizado:

$$ITV_{CON} = C_p - C_g \quad [5]$$

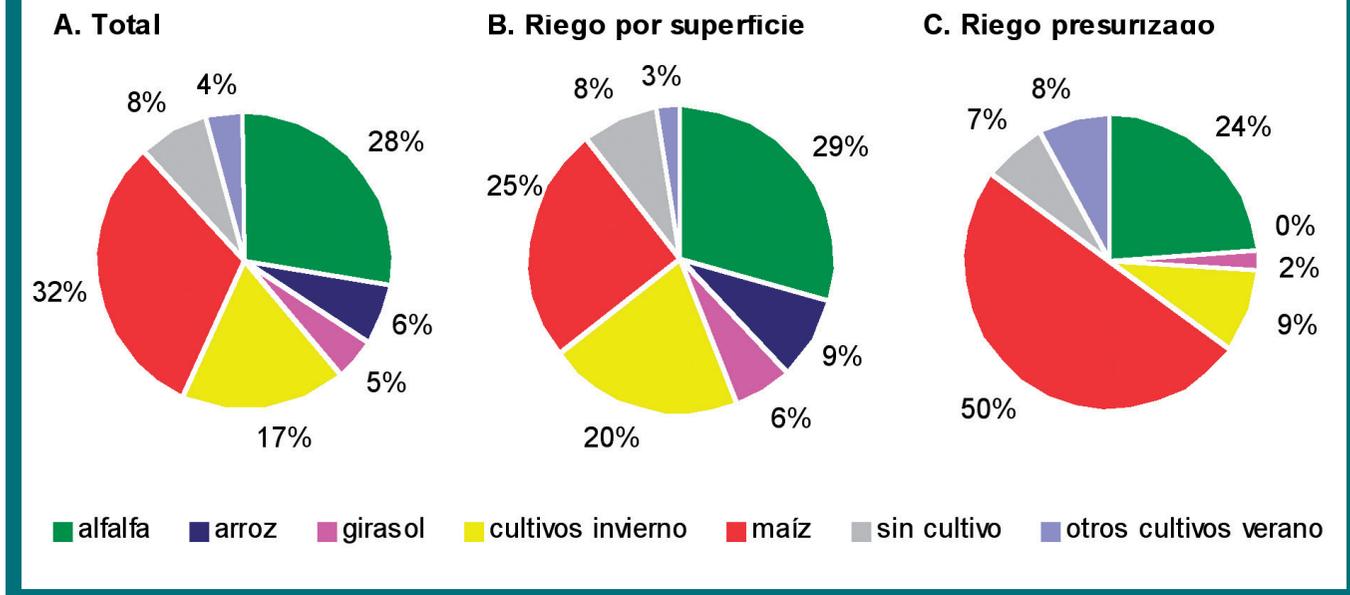
$$ITV_{PS} = PS_p - PS_g \quad [6]$$

Donde C_p es el consumo medio de las comunidades con riego presurizado (m^3/ha), C_g es el consumo de la comunidad con riego por gravedad para la que se calcula el índice (m^3/ha), PS_p es la productividad de la superficie media de las comunidades con riego presurizado ($€/ha$), y PS_g es la productividad de la superficie de la comunidad de regantes con riego por gravedad para la que se calcula el índice ($€/ha$).

Escenarios de modernización

La metodología que se acaba de describir se aplicó para estimar los efectos

Figura 1. Distribución de cultivos por tipos de riego en RAA durante la campaña 2003



que la modernización de RAA puede tener sobre la disponibilidad y calidad del agua en la cuenca. Se plantearon cuatro escenarios de modernización sobre los que se calcularon los correspondientes balances e indicadores:

-Escenario A1: considera como superficie modernizada las 52.318 ha (20 comunidades) que actualmente tienen aprobado o finalizado el proceso. Esto supone que el 69% de la superficie total de RAA disponga de riego presurizado. El patrón de cultivos asignado a estas superficies es el que presentaban en el año 2003 las comunidades que ya disponían de riego por aspersión.

-Escenario A2: contempla una variación del patrón de cultivos respecto del escenario anterior. En las comunidades con riego por aspersión se contempla una intensificación de dicho patrón (incremento del 16% de la superficie ocupada por cultivos extensivos de verano), mientras que en las que mantienen el riego por gravedad se considera una disminución de los cultivos extensivos de verano (27%). Estos porcentajes de variación se estimaron a partir de la situación de las comunidades que actualmente presentan una mayor y menor intensificación de cultivos. De esta manera se considera, en el primer caso, la necesidad de aumentar la pro-

ductividad de las explotaciones y, en el segundo, los efectos de su pérdida de competitividad.

-Escenario B1: simula una situación futura en la que la superficie modernizada alcanza la totalidad de la superficie regable que en 2003 se regaba por gravedad. Todo RAA se riega por aspersión con un patrón de cultivos similar al que en dicho año presentaban las comunidades con riego presurizado.

-Escenario B2: asume igualmente una modernización total, pero con un patrón de cultivos intensificado (incremento del 16% de la superficie ocupada por cultivos extensivos de verano).

Estos escenarios se aplicaron a las mismas condiciones meteorológicas del 2003 para obtener resultados comparables. La demanda de agua de las comunidades que cambian de patrón de cultivos se estimó en función de la relación existente en 2003 entre las necesidades hídricas netas teóricas y las demandas de agua. En los cuatro escenarios se estimó una disminución de un 8% en la diferencia entre el volumen de agua demandado en embalse y en canal. Esta reducción se justifica en la mayor flexibilidad que aportarán al sistema de transporte las balsas de regulación interna que se están construyendo en el proceso de modernización.

Resultados y discusión

Situación en 2003

La **Figura 1** muestra que el maíz y la alfalfa fueron mayoritarios en RAA en 2003, ocupando el 60% de la superficie regable. Estos cultivos, junto con el arroz (6%), son los que presentan un mayor rendimiento económico entre los cultivos extensivos, pero también una mayor evapotranspiración. El 74% de la superficie presurizada produjo estos cultivos, mientras que en las zonas con riego por gravedad esta superficie alcanzó el 63%. Por otro lado, la superficie no cultivada fue superior en las comunidades con riego por gravedad, debido principalmente a la Política Agraria Comunitaria, y a problemas de salinidad de suelos. En las zonas de aspersión se realizaron dobles cosechas (generalmente cebada o guisante seguidos de maíz) en un 8% de la superficie, principalmente en el sur de RAA.

La **Tabla 1** muestra los resultados agregados del balance de agua y los indicadores calculados para la campaña de 2003. La demanda unitaria del riego por gravedad (6.206 m³/ha) fue ligeramente inferior a la del riego por aspersión (6.469 m³/ha). La razón de este menor uso de agua se debe a la menor intensidad de cultivo, y al reapro-

Tabla 1. Balance de agua e indicadores por tipos de riego en RAA durante la campaña 2003

| | Total gravedad | Total presión | Total en canal | Total en embalse |
|---------------------------------------|----------------|----------------------|----------------|------------------|
| Superficie (ha) | 88.527 | 34.402 | 122.929 | 122.929 |
| Entradas (hm ³) | 549,4 | 222,5 | 772,0 | 877,7 |
| Salidas (hm ³) | | | | |
| Evapotranspiración | | | | |
| Productiva | 353,7 | 171,5 | 525,2 | 525,2 |
| No Productiva | 5,5 | 35,5 | 41,0 | 62,1 |
| Total | 359,1 | 207,0 | 566,2 | 587,3 |
| Escorrent./Percol. | | | | |
| No recuperable | 15,4 | 0,3 | 15,7 | 15,7 |
| Recuperable | 174,9 | 15,3 | 190,2 | 274,7 |
| Total | 190,3 | 15,5 | 205,8 | 290,4 |
| Indicadores hidrológicos | | | | |
| Total consuntivos, hm ³ | 374,5 | 207,3 | 581,8 | 603,0 |
| Total no consuntivos, hm ³ | 174,9 | 15,3 | 190,2 | 274,7 |
| Fr. Consuntiva (%) | 68 | 93 | 75 | 69 |
| Fr. No Consuntiva (%) | 32 | 7 | 25 | 31 |
| Fr. Product. Total (%) | 64 | 77 | 68 | 60 |
| Fr. Product. Consunt. (%) | 94 | 83 | 90 | 87 |
| Entradas unit. (m ³ /ha) | 6.206 | 6.469 | 6.280 | 7.140 |
| Evapotr. unit. (m ³ /ha) | 4.057 | 6.018 | 4.606 | 4.778 |
| Esc./Perc. unit. (m ³ /ha) | 2.149 | 451 | 1.674 | 2.362 |
| Indicadores económicos | | | | |
| Valor producción (m€) | 82,4 | 55,0 | 137,4 | 137,4 |
| Product. superf. (€/ha) | 931 | 1.598 | 1.118 | 1.118 |
| Product. consumo (€/m ³) | 0,220 | 0,265 ⁽¹⁾ | 0,236 | 0,228 |

^(*) No están incluidas 425 ha del sector XXXVII del Canal de Cinca en las que en 2003 todavía no había concluido su transformación de secano en regadío.

⁽¹⁾ Si se excluyen las 2.500 ha de viñedo del sistema RAA resultan 0,227 €/m³

vechamiento de las aguas de escorrentía/percolación que se produce en las comunidades con riego por gravedad. Por el contrario, la diferencia en consumo de agua entre los dos tipos de riego fue muy acusada. La fracción consuntiva (FC) en aspersión (6.025 m³/ha; FC = 93%) fue un 42% superior a la del riego por gravedad (4.231 m³/ha; FC = 68%). Esta diferencia se debe fundamentalmente a tres factores: la mayor intensidad del patrón de cultivos en el riego presurizado; la mayor flexibilidad, fiabilidad y capacidad de las nuevas redes y sistemas de riego por aspersión

(con equipos de fertirriego incluidos), que permiten satisfacer la práctica totalidad de las necesidades hídricas de los cultivos; y las pérdidas de agua hacia la atmósfera por evaporación y arrastre, que se estima alcanzan de media un 15% del agua aplicada en las parcelas con este tipo de riego.

En el conjunto de RAA, la FC se sitúa en el 75% respecto a la demanda en canal, y en el 69% respecto a la demanda en embalse. La Fracción Productiva Total (FPT), que relaciona la evapotranspiración productiva con la demanda total, se ha utilizado frecuentemente para

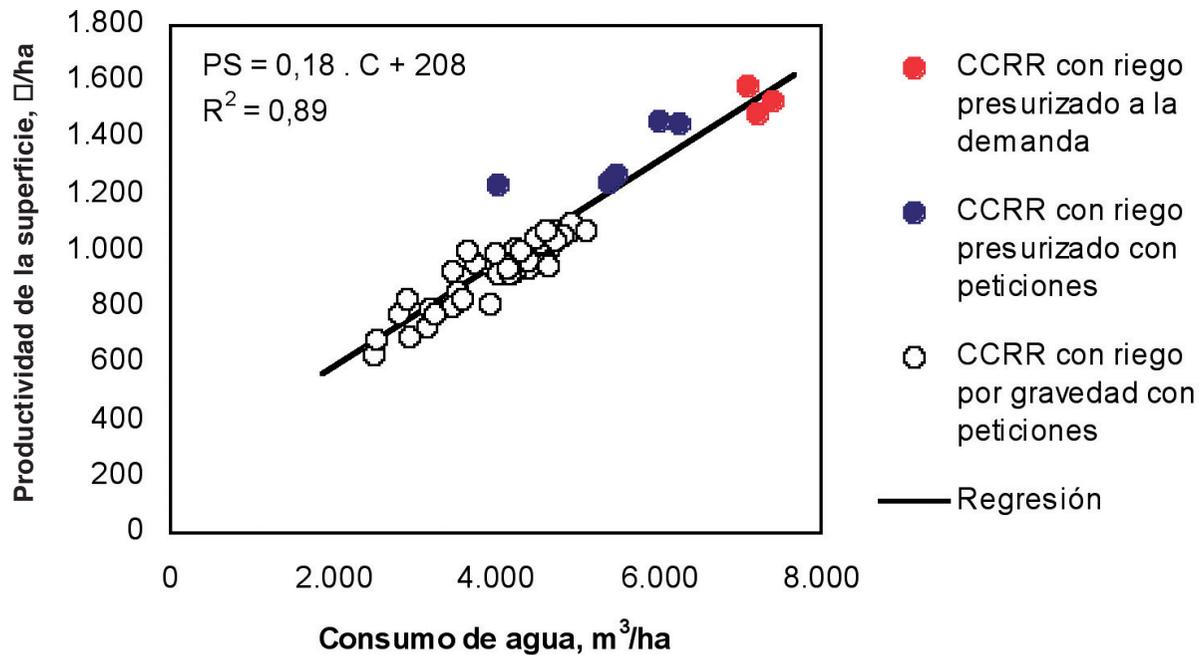
estimar la eficiencia de riego. La FPT alcanzó en 2003 un valor del 60% sobre la demanda en embalse, y un 68% sobre la demanda en canal.

El uso del concepto de eficiencia para la estimación del ahorro de agua que puede generar la modernización conduciría a una interpretación errónea de la realidad, debido a que la demanda total de agua comprende tanto la fracción consuntiva como la no consuntiva. Para este tipo de estimaciones es necesario utilizar la Fracción Productiva Consuntiva (FPC), que relaciona la evapotranspiración productiva con el volumen de agua que realmente se consume. En RAA, esta FPC alcanzó un 87% sobre la demanda en embalse. Este valor deja un margen muy estrecho para posibles ahorros reales de agua, es decir, disminuciones del consumo, que principalmente deberían conseguirse en esta zona reduciendo las pérdidas por evaporación y arrastre en aspersión (evapotranspiración no productiva).

La FPC en el riego por aspersión presenta un valor inferior (83%) al de riego por gravedad (94%), en contraste con la Fracción Productiva Total o Eficiencia del riego, mayor en aspersión (77%) que en riego por gravedad (64%). Es decir, el consumo no productivo es mayor, en términos relativos, en el riego por aspersión debido a las pérdidas por evaporación y arrastre. A pesar de ello, la mejor distribución y aplicación del agua con las nuevas infraestructuras de aspersión presenta claras ventajas sobre las antiguas zonas de riego por gravedad: entre otras, permiten obtener una mayor productividad económica bruta, y disminuir la exportación de contaminantes hacia los cursos naturales de agua.

Esto último es debido a que el volumen unitario de agua percolada en las parcelas que se riegan por gravedad (4.140 m³/ha sobre superficie regable) es de media casi diez veces superior al que se da en aspersión (451 m³/ha sobre superficie regable). Esto supone un mayor riesgo de disolución y transporte de contaminantes como sales y nitratos (mayor "efecto aporte" en el riego por gravedad), y una mayor carga (masa) de contaminantes en los retornos del riego que es la que determina el grado de contaminación en las masas de agua receptoras de los mismos.

Figura 2. Productividad bruta de la superficie (PS) en función del consumo unitario de agua (C) por comunidades de regantes en RAA durante la campaña 2003



La mayor presencia de cultivos de verano en los sistemas presurizados implica alcanzar una mayor productividad bruta por unidad de superficie regable (1.598 €/ha frente a 931 €/ha). Como se ha indicado, el uso de una tecnología de riego más moderna permite obtener mayores rendimientos y cultivar una mayor superficie con cultivos de verano más productivos.

Como muestra la **Figura 2**, una mayor productividad económica bruta por unidad de superficie regable supone un mayor consumo unitario de agua. Esto es debido al mayor consumo de agua que supone la mayor producción agrícola unitaria en las zonas de aspersión, a las pérdidas por evaporación y arrastre de este tipo de riego, y al bajo valor económico de los cultivos herbáceos extensivos. Por todo ello, la productividad del agua consumida es muy similar en ambos tipos de riego (0,220 €/m³ en gravedad frente a 0,227 €/m³ en aspersión sin tener en cuenta las 2.500 ha de viñedo regadas por goteo en RAA; si se incluye esta superficie de viñedo la productividad para el riego presurizado alcanza un valor de 0,265 €/m³).

Escenarios de modernización

La **Tabla 2** muestra los resultados totales obtenidos en los distintos escenarios de modernización. El incremento de la proporción de cultivos de verano, y la reducción del estrés de los cultivos que supone la modernización, implica que la evapotranspiración productiva se incrementa en los distintos escenarios entre un mínimo del 14 (escenario A1) y un máximo del 41% (escenario B2) con respecto a la evapotranspiración productiva de 525,2 hm³ calculada para el año 2003. Al producirse el cambio a aspersión, la evapotranspiración no productiva también experimenta un notable ascenso, entre el 67 y el 142%, debido a las pérdidas por evaporación y arrastre.

La escorrentía/percolación experimenta un importante descenso tras la modernización. Respecto a una percolación recuperable de 274,7 hm³ en 2003, la disminución es de entre el 22% (escenario A1) y el 46% (escenario B1). Este descenso sería inferior en valores absolutos al incremento de la evapotranspiración, por lo que la demanda se incrementa entre 46 y 167 hm³ respecto a 2003.

Por todo ello, respecto a un consumo total de 603 hm³ en 2003, la modernización de RAA implica un aumento del mismo de entre 107 hm³ (escenario A1) 293 hm³ (B2) (**Tabla 2**). La fracción consuntiva de esta demanda pasaría del 69% original, al 77-86% según el escenario considerado. Dentro de esta fracción consuntiva, la importancia de la evapotranspiración de los cultivos (Fracción Productiva Consuntiva, FPC) se mantendría en torno al 85% del consumo total. La mayor parte del consumo no productivo se debe a las pérdidas por evaporación y arrastre del riego por aspersión, dado que el volumen de la escorrentía/percolación no recuperable es de escasa magnitud. La modernización de RAA supondría aguas abajo de esta zona regable disminuciones efectivas en la disponibilidad de agua de entre 107 y 293 hm³.

Una consecuencia relevante de la modernización de RAA será el impacto positivo del descenso del volumen de sus retornos sobre la contaminación provocada en las masas de agua receptoras de los mismos y, en último término, sobre el propio río Ebro. Menor volumen de

Tabla 2. Balance de agua e indicadores totales en embalse durante la campaña 2003 y para cuatro escenarios de futuro en RAA

| | 2003 | Escenario A1 | Escenario A2 | Escenario B1 | Escenario B2 |
|---------------------------------------|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Superficie (ha) | 122.929 | 122.929 | 122.929 | 122.929 | 122.929 |
| Entradas (hm ³) | 877,7 | 924,0 | 954,3 | 933,1 | 1.044,6 |
| Salidas (hm ³) | | | | | |
| Evapotranspiración | | | | | |
| Productiva | 525,2 | 599,7 | 632,2 | 662,9 | 742,9 |
| No Productiva | 62,1 | 104,0 | 113,7 | 134,8 | 150,3 |
| Total | 587,3 | 703,6 | 745,8 | 797,7 | 893,2 |
| Escorrent./Percol. | | | | | |
| No recuperable | 15,7 | 6,1 | 5,4 | 2,3 | 2,6 |
| Recuperable | 274,7 | 214,3 | 203,1 | 133,0 | 148,7 |
| Total | 290,4 | 220,3 | 208,5 | 135,4 | 151,3 |
| Indicadores hidrológicos | | | | | |
| Total consuntivos, hm ³ | 603,0 | 709,7 | 751,2 | 800,1 | 895,8 |
| Total no consuntivos, hm ³ | 274,7 | 214,3 | 203,1 | 133,0 | 148,7 |
| Fr. Consuntiva (%) | 69 | 77 | 79 | 86 | 86 |
| Fr. No Consuntiva (%) | 31 | 23 | 21 | 14 | 14 |
| Fr. Product. Total (%) | 60 | 65 | 66 | 71 | 71 |
| Fr. Product. Consunt. (%) | 87 | 84 | 84 | 83 | 83 |
| Entradas unit. (m ³ /ha) | 7.140 | 7.516 | 7.763 | 7.590 | 8.497 |
| Evapotr. unit. (m ³ /ha) | 4.778 | 5.724 | 6.067 | 6.489 | 7.266 |
| Esc./Perc. unit. (m ³ /ha) | 2.362 | 1.792 | 1.696 | 1.101 | 1.231 |
| Indicadores económicos | | | | | |
| Valor producción (€) | 137,4 | 164,8 | 177,6 | 183,1 | 200,0 |
| Product. superf. (€/ha) | 1.118 | 1.341 | 1.445 | 1.490 | 1.627 |
| Product. consumo (€/m ³) | 0,228 | 0,232 | 0,236 | 0,229 | 0,223 |

(*) No están incluidas 425 ha del sector XXXVII del Canal de Cinca en las que en 2003 todavía no había concluido su transformación de secano en regadío.

escorrentía/percolación supone, a pesar del incremento de las concentraciones, menor masa de contaminantes exportados, tal como se ha comprobado en diversas comunidades de RAA (Isidoro et al., 2004; Cavero et al., 2004; Tedeschi et al., 2003), en trabajos previos sobre el tema (Aragüés y Tanji, 2003), y en simulaciones efectuadas con modelos hidrosalinos (Aragüés et al., 1990). Estos estudios también apuntan a la posibilidad de que, a escala local, el descenso del volumen de retornos y el incremento de la concentración de contaminantes puede tener efectos negati-

vos sobre los ecosistemas y usuarios que aprovechan directamente dichas aguas. Este es el caso de los ríos y colectores generales de riego que atraviesan RAA, cuyos caudales naturales durante el verano son muy escasos. El valor económico bruto total de la producción se incrementará entre 27 y 63 millones de euros respecto a la situación original (20-46%). Este es otro de los efectos positivos de la modernización, al generar un aumento la actividad económica en una zona rural como la que ocupa RAA. La adopción de nuevas tecnologías de riego también mejorará las condiciones de tra-

bajo, lo que facilitará la incorporación de jóvenes agricultores.

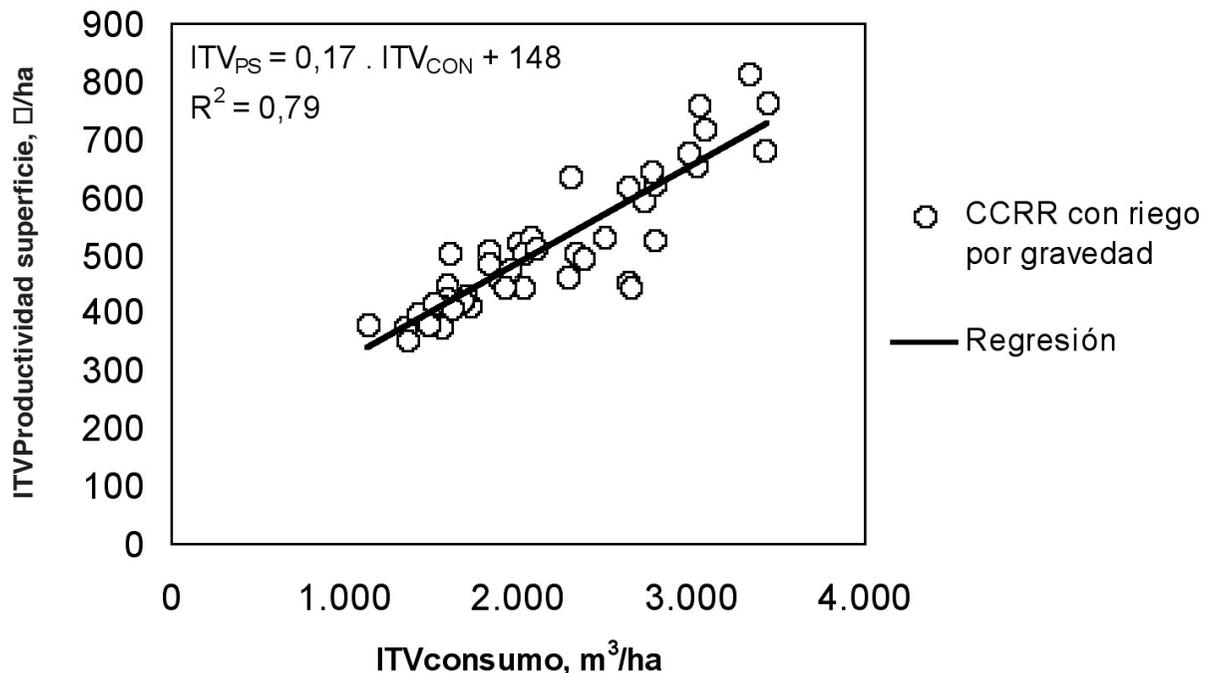
El incremento medio de los costes de amortización, operación, mantenimiento y, en su caso, energéticos, derivados de la modernización es de 400 €/ha. Respecto a una productividad bruta por unidad de superficie regable de 931 €/ha en 2003, el incremento de la misma tras la modernización oscilará entre 568 €/ha (escenario A1) y 731 €/ha (B2). Las comunidades con riego por gravedad que presentan un mayor potencial de crecimiento de su consumo de agua son las que a su vez presentan un mayor potencial de crecimiento de su productividad por unidad de superficie (Figura 3).

Sin embargo, la modernización apenas variará la productividad económica bruta del agua consumida, ya que el incremento del consumo será proporcional al incremento del valor económico. El mantenimiento de los cultivos extensivos, por su bajo valor, y la adopción del riego por aspersión, por sus pérdidas por evaporación y arrastre, son las principales causas de esta escasa respuesta de la productividad del agua. La introducción parcial de cultivos de mayor valor añadido (hortalizas, leñosos) regados por goteo permitiría incrementar la productividad del agua consumida (en particular bajo estrategias de riego deficitario controlado), lo que proporcionaría una mayor protección ante situaciones de sequía. Sin embargo, la necesidad de mano de obra poco cualificada en estos cultivos, así como la falta de adecuadas estructuras de comercialización, plantean incertidumbres en este sentido.

La magnitud de los efectos de la modernización dependerá, además del nivel de formación del agricultor en el uso de las nuevas tecnologías de riego, de la superficie que finalmente se modernice y del grado de intensificación del patrón de cultivos que se adopte.

En un contexto de liberalización de los mercados agrarios, estos parámetros serán cada vez más dependientes de la evolución de factores como los precios de los productos agrícolas, de la energía, o del agua disponible, entre otros. Todo ello hará más compleja en el futuro tanto la planificación agronómica de las explotaciones, como la planificación hidrológica de las cuencas. La formación y la investigación son las principa-

Figura 3. Relación entre el Índice Teórico de Variación de la productividad de la superficie (ITVPS) y el Índice Teórico de Variación del consumo de agua (ITVCON) en RAA referidos a la campaña 2003



les herramientas con las que afrontar esta mayor complejidad.

Conclusiones

La aplicación de la contabilidad del agua en RAA ha generado información imprescindible para la adecuada comprensión de los efectos de su modernización sobre la hidrología de la cuenca del Ebro: una reducción de la disponibilidad del agua por el aumento de su consumo (evapotranspiración); un aumento de la demanda (uso) de agua al ser mayor el aumento de la evapotranspiración que la disminución de los retornos; y una productividad del agua consumida que apenas variará, al mantenerse los cultivos extensivos y adoptarse el sistema de riego por aspersión.

Para el sector agrario, el principal beneficio de la modernización será el incremento de su renta y de su productividad (€/ha), así como la mejora de las condiciones de trabajo de los regantes, lo que contribuirá a la sostenibilidad económica y social de un extenso territorio de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Para la sociedad, el principal beneficio directo de la modernización será la mejora de la calidad de las aguas en la cuenca, haciendo medioambientalmente más sostenible la actividad agraria de la zona regable más extensa de la Unión Europea. Cuantitativamente, estos resultados suponen una primera aproximación a los efectos de la modernización, dada la escasez de datos disponibles, lo que debe ser considerado en su interpretación.

Para poder aplicar la contabilidad del agua se requiere el desarrollo de un sistema específico y permanente de recopilación de datos (incluyendo parámetros de calidad de aguas), y el incremento del conocimiento sobre los procesos hidrológicos del regadío a través de la investigación.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración prestada para la obtención de datos utilizados en este trabajo a la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón y sus comunidades de base.

Referencias

Debido a su larga extensión, la bibliografía no aparece publicada. Los interesados pueden solicitarla a riegosydrenajes@rbi.es

**Ager ingenieros,
Ingeniería Rural y Civil, S.L.**
C/ Mayor, 53, 2ºB
50001 Zaragoza
Tel.: 902 243 700 - Fax: 902 877 469
www.ager.es

Estación Experimental de Aula Dei (CSIC)
Departamento de Suelo y Agua
Apdo. 13034
50080 Zaragoza
Tel.: 976 716 100 - Fax: 976 716 145
www.eead.csic.es

**Centro de Investigación y Tecnología
Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA)**
Unidad de Suelos
y Riegos Asociada al CSIC
Avda. de Montañana, 930
50059 Zaragoza
Tel.: 976 716 300 - Fax: 976 716 335
www.cita-aragon.es