

Consecuencias de la modernización del regadío sobre el aprovechamiento del agua en Riegos del Alto Aragón

Lecina, S.¹, Zapata, N.², Playán, E.³, Salvador, R.⁴, Faci, J. M.², Mantero, I.⁴,
Cavero, J.³, Andrés, J.⁵

Resumen

¿Será suficiente la modernización del regadío para abordar las incertidumbres que plantea el futuro del sector agrario?; ¿La mejora de la productividad que se obtenga permitirá afrontar el pago de la inversión ante los continuos incrementos de precios de los factores de producción?; ¿Se ahorrará suficiente agua para ser menos sensibles a situaciones de sequía?. La modernización es un proceso necesario para mejorar la situación del regadío español. Sin embargo, plantea incertidumbres en grandes zonas regables del interior orientadas a la producción de cultivos herbáceos extensivos. Este trabajo pretende proporcionar una primera aproximación a estas cuestiones en la zona regable de Riegos del Alto Aragón. A partir de los datos disponibles en su sistema de gestión basado en ADOR se ha analizado la situación actual del aprovechamiento del agua, y la posible repercusión que tendrá la modernización. Los resultados muestran cómo la modernización no va a suponer un ahorro neto de agua en la cuenca. La modernización mejorará la productividad económica garantizando la sostenibilidad de las explotaciones si se aprovecha la flexibilidad de las nuevas infraestructuras para diversificar los cultivos y realizar un uso más productivo del agua.

Abstract

Will the modernization of irrigation systems be enough to face the uncertainties of the agrarian sector?; Will the improvement of productivity achieved allow to pay back the required investments in a context of progressive increase of input costs?; Will the water saving achieved be enough to reduce the sensitivity to water shortages? The modernization of irrigation systems is a necessary process to improve the Spanish irrigation sector. Nevertheless, it raises uncertainties in continental irrigated areas specializing in field crops. In this paper, preliminary answers to these questions are presented for the Riegos del Alto Aragón project (central Ebro basin, Spain). Current water use and the impact of modernization have been analyzed using the management database ADOR, which is widely

¹ Ager ingenieros, ingeniería rural y civil S.L. c/ Mayor 53, 2ºB 50001 Zaragoza (España). lecina@ager.es

² Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (DGA). Apdo. 727, 50080 Zaragoza (España).

³ Estación Experimental de Aula Dei (CSIC). Apdo. 202, 50080 Zaragoza (España).

⁴ Oficina del Regante (Gobierno de Aragón). Plaza Antonio Martínez Beltrán 1, 5º 50002 Zaragoza.

⁵ Supraweb S.L. c/ Francisco de Vitoria, 6, pral. izq. 50008 Zaragoza (España).

used in this area. The modernization of irrigation systems will not result in net water saving for the watershed. Modernization will increase the economic productivity that can guarantee the sustainability of farming systems if the flexibility of the new hydraulic structures is used to diversify crops and to make a more productive use of water.

1. Introducción

Durante los últimos años la modernización del regadío ha sido uno de los ejes principales de la política agraria en nuestro país. La importancia que el regadío tiene para la producción del sector agrario, su efecto sobre la economía y la ordenación del territorio en el medio rural, y la antigüedad de una buena parte de nuestras zonas regables justifican este interés. El Plan Nacional de Regadíos (PNR) vino a reconocer todo ello y estableció las directrices para llevar a cabo una profunda mejora de la situación del regadío español. El objetivo de las actuaciones que plantea este plan es lograr que el sector afronte con éxito los retos que para el mismo suponen cuestiones tales como la liberalización de los mercados agrarios, la mayor competencia por el agua, o las crecientes restricciones medioambientales, asegurando de esta forma su sostenibilidad económica, social y medioambiental. Con este fin el PNR pretende elevar el nivel tecnológico del regadío para hacerlo más productivo, más competitivo y más respetuoso con el medio ambiente, consiguiendo a la vez un ahorro de agua que permita atenuar las consecuencias de las periódicas situaciones de sequía. Todas estas acciones, incluyendo el reciente Plan de Choque de Modernización, van a suponer una inversión conjunta de 7.000 millones de euros en más de dos millones de hectáreas.

El sistema de Riegos del Alto Aragón (RAA), la mayor zona regable de la Unión Europea, ha apostado decididamente por la modernización de su regadío. En la actualidad, el 60 % de la superficie regable que se riega por gravedad está en proceso de transformación a riego por aspersión, lo que va a suponer una inversión de más de 500 millones de euros. Paralelamente, la Comunidad General (CGRAA) y las comunidades de regantes de base se han dotado de un avanzado sistema de gestión basado en el programa ADOR, complementando la modernización de las infraestructuras hidráulicas con la imprescindible mejora de la gestión.

A pesar de toda esta energía modernizadora, el proceso está generando interrogantes entre los regantes y los responsables de las comunidades, ante las incertidumbres que plantea el futuro del sector agrario. ¿Será suficiente la modernización para afrontar estas incertidumbres?; ¿La mejora de la productividad que suponga permitirá pagar la inversión y los continuos incrementos de precios de los factores de producción?; ¿Se ahorrará suficiente agua para reducir el impacto de las sequías y afrontar el incremento de superficie regable prevista en el sistema?.

Este trabajo pretende generar información que sirva para apoyar la toma de decisiones sobre la planificación estratégica de RAA a medio-largo plazo. Para ello se ha estudiado la situación actual del sistema en cuanto al aprovechamiento del agua, y se han analizado diversos escenarios de futuro tras el proceso de modernización.

2. El sistema de Riegos del Alto Aragón

RAA se localiza en la cuenca del Ebro (provincias de Huesca y Zaragoza). La superficie regable actual alcanza 123.354 ha, repartidas en un territorio de 2.500 km² situado entre 425 y 200 m de altitud. Su clima es semiárido, con una temperatura media de 14,5 °C, y una precipitación media anual que varía entre 450 mm en el norte y 300 mm en el sur.

Dispone de seis embalses de cabecera (930,44 hm³), 223 km de canales de transporte, 2.000 km de canales principales de distribución, y 3.000 km de desagües principales. Además del abastecimiento de su regadío, suministra agua a 588 explotaciones ganaderas, 10 polígonos industriales, y 110 núcleos de población, entre ellos Huesca y Barbastro.

RAA se encuentra dividido en 53 comunidades de regantes. Debido a la antigüedad del origen del sistema, y a su paulatina transformación, las infraestructuras hidráulicas son muy heterogéneas, pudiéndose distinguir dos grupos de comunidades: 1) Las transformadas en los últimos 25 años, que disponen de redes de distribución a presión y sistemas de riego por aspersión (32.854 ha); y 2) Las transformadas con anterioridad (90.500 ha), que se riegan por superficie, y que en general presentan una estructura parcelaria más atomizada.

Los cultivos extensivos han sido tradicionalmente mayoritarios, habiendo evolucionado 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.

Además del proceso de modernización antes descrito, el sistema sigue creciendo en superficie regable. La superficie planificada que resta por transformar es de 51.000 ha, con las que se alcanzaría una superficie de riego de 175.000 ha (CGRAA, 2004).

2.1 El proyecto ADOR en RAA

Este estudio se ha realizado a partir de los datos recopilados en el nuevo sistema de gestión de RAA. El mismo se basa en la incorporación del programa ADOR a la gestión diaria de las comunidades de base. Este programa, desarrollado por la Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (CITA-DGA), incorpora estándares de gestión orientados a alcanzar la excelencia en el uso del agua (Playán et al., 2007). El sistema de gestión se ha completado con el desarrollo de un módulo específico de centralización de datos denominado CADOR. Mediante este módulo se establece un flujo de datos continuo a través de Internet entre las comunidades y la CGRAA,

donde se encuentra instalado CADOR, permitiendo el conocimiento y la actualización en tiempo real del censo de superficies regables, los cultivos, y el uso del agua.

En el desarrollo y ejecución de este sistema de gestión han intervenido empresas de ingeniería (Ager ingenieros) e informática (Supraweb y Soster), los investigadores de la EEAD y el CITA, y los técnicos de la Oficina del Regante (servicio de asesoramiento al regante del Gobierno de Aragón), además de la colaboración de la CGRAA, de las comunidades de base, y de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). El proyecto ha supuesto una inversión de 744.528 € durante los cuatro años que ha requerido su ejecución, cofinanciados entre la CGRAA y el Gobierno de Aragón.

3. Caracterización del periodo de estudio

El estudio realizado en RAA se ha llevado a cabo con los datos disponibles en ADOR, correspondientes a los años 2003 y 2004. Este periodo puede considerarse como normal, pues no se produjeron restricciones de agua o cualquier otra circunstancia que afectase al normal desarrollo de ambas campañas. Los patrones de cultivo fueron similares, predominando el maíz y la alfalfa (59 %), seguidos por los cultivos de invierno (principalmente cebada y trigo) y por las tierras sin cultivo (Figura 1). Dentro del grupo de cultivos de verano destaca por su importancia económica el viñedo existente en la zona del Somontano de Barbastro, al norte de RAA.

Existen diferencias entre sistemas de riego en cuanto a los cultivos. La flexibilidad y capacidad de servicio de las infraestructuras, y las menores necesidades de mano de obra, entre otros motivos, permiten que los cultivos de maíz y alfalfa alcancen el 75 % de la superficie en el riego presurizado, frente al 54 % en el riego por gravedad (Figura 1). En las zonas de aspersión también se producen dobles cosechas en un 8 % de la superficie, principalmente en la mitad sur de RAA.

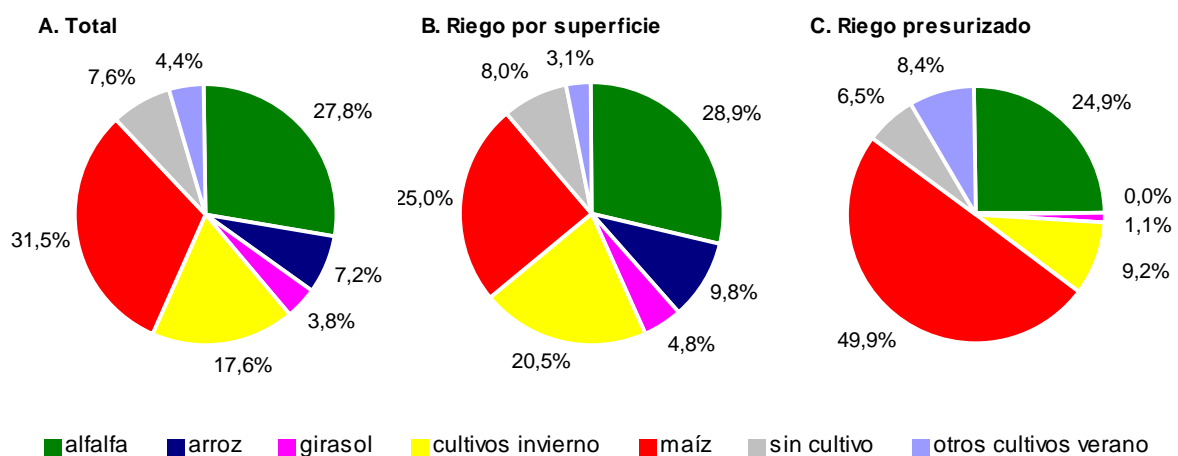


Figura 1. Patrón de cultivo promedio de las campañas 2003 y 2004 en RAA

Las condiciones meteorológicas de los dos años fueron similares, por lo que las necesidades hídricas de los cultivos no presentaron diferencias importantes entre años. En 2003 alcanzaron un nivel del 55 % de probabilidad de no excedencia (PNE), y en 2004 del 65 %, según las series históricas disponibles (Tejero, 2003). En la primavera de ambos años la precipitación recogida en RAA se situó en torno al 50 % de PNE. Todo ello motivó que las demandas de agua fuesen de 780 y 813 hm³, con una eficiencia de transporte media del 86 % según la CHE.

4. Material y métodos

La descripción del aprovechamiento del agua en RAA se ha basado en la determinación de una serie de indicadores externos que hacen referencia tanto al suministro de agua como a la producción agraria de la zona regable. Mediante los mismos se pueden establecer comparaciones espaciales -entre comunidades de regantes o entre zonas regables-, y temporales, permitiendo evaluar los resultados de actuaciones estratégicas tales como la modernización.

El índice estacional de calidad de riego (IECR) (Faci et al., 2000) es la relación entre las necesidades hídricas de los cultivos y el volumen de agua demandada para satisfacerlas. Este índice, inverso al índice relativo de suministro de riego (Molden et al., 1998), es una simplificación del concepto de eficiencia, pues únicamente considera la fracción consuntiva de los usos beneficiosos del agua de riego, y no tiene en cuenta el efecto del estrés hídrico del cultivo sobre el consumo de agua. No obstante, la relativa sencillez de su cálculo, y su capacidad descriptiva, hacen del mismo un útil indicador para analizar el uso del agua en el regadío.

La productividad del agua es un indicador de la producción que se obtiene del riego. Presenta diferentes variantes, según se relacione la producción física o económica que se consigue por unidad de agua que se usa, o se consume (Molden et al, 1998; Playán y Mateos, 2006). En este trabajo se ha utilizado la relación entre el valor económico bruto de la producción agraria y el volumen de agua demandado para el riego. Para tener una visión completa de la capacidad productiva de una zona regable, este índice se acompaña del valor bruto producido por unidad de superficie.

Los indicadores se han calculado a escala de comunidad de regantes, y mediante su agregación se han determinado sus valores para el conjunto de RAA distinguiendo entre riego por superficie y riego presurizado. En aquellas comunidades en las que no se declararon los cultivos en ADOR, sus superficies se determinaron a partir de los datos procedentes de la PAC (referencia catastral – cultivo), proporcionados por el Gobierno de Aragón. La relación de las referencias catastrales con las comunidades se realizó mediante

el Sistema de Información Geográfica que sobre la delimitación de las mismas se desarrolló en el ámbito del proyecto ADOR.

Las necesidades hídricas netas de los cultivos (NHn) se calcularon siguiendo la metodología de la FAO (Allen et al., 1998). Para ello se utilizaron los datos meteorológicos de las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología y de la Red de Estaciones Agrometeorológicas del Gobierno de Aragón existentes en la zona. Los coeficientes de cultivo que se aplicaron fueron los indicados por Martínez-Cob et al. (1998).

Los volúmenes de agua demandada se corresponden con el agua concedida por la CHE a las comunidades en toma de canal. La propia CHE proporcionó los volúmenes de agua desembalsados, equivalentes a la demanda de agua en embalse, así como la eficiencia de transporte en canal.

El rendimiento de los cultivos se obtuvo mediante encuesta entre los responsables de las comunidades de regantes. Se diferenciaron los rendimientos medios obtenidos en riego por superficie y en riego presurizado. Los precios que se consideraron para cada cultivo fueron los indicados por las estadísticas agrarias de la Diputación General de Aragón (2004).

La estimación de la evolución de los indicadores tras el proceso de modernización se realizó mediante el planteamiento de 12 escenarios de futuro que se han comparado con la situación actual. Dichos escenarios recogen la combinación de tres variables:

- El patrón de cultivos: contempla tres situaciones (Tabla 1); 1XX. Se mantiene el patrón actual existente en cada tipo de riego; 2XX. Se incrementa la superficie de los cultivos herbáceos extensivos más productivos en las zonas de riego presurizado; 3XX. Se introduce en un tercio de la superficie cultivos hortícolas y leñosos (frutales, viñedo y olivo). Con estos patrones no se pretende indicar cuál es la combinación de cultivos más adecuada, sino poner de manifiesto el efecto de la diversificación de cultivos respecto a la situación actual.
- La superficie a modernizar: considera dos alternativas; XX1. Se moderniza el 60 % de la superficie con riego por gravedad que actualmente ya se encuentra en este proceso; XX2. Se moderniza el 100 % del regadío por gravedad.
- El nivel de gestión del agua: contempla dos situaciones; X2X. No se supera una eficiencia media del 75 % en riego presurizado; X1X. Se alcanza un 85 % de eficiencia media. En ambos casos, para el regadío por superficie que quede sin modernizar se ha considerado una eficiencia del 65 % (Lecina et al., 2005).

Para poder comparar los escenarios futuros con el escenario que refleja la situación actual, las NHn de los cultivos se calcularon al 50 % y al 80 % de PNE. Para ello se utilizaron las series históricas de datos de NHn por comarcas (Tejero, 2003).

Tabla 1. *Patrones de cultivo por tipo de riego (%) considerados en los diferentes escenarios*

	Escenarios 1XX		Escenarios 2XX		Escenarios 3XX	
	Presión	Gravedad	Presión	Gravedad	Presión	Gravedad
Alfalfa	25,1	28,8	29,2	22,6	19,5	22,6
Arroz	0,0	9,6	0,0	14,6	0,0	14,6
Girasol	1,1	4,8	1,9	7,3	1,0	7,3
Cultivos invierno	9,2	20,6	1,9	26,2	2,9	26,2
Maíz	50,2	25,0	56,5	15,1	37,0	15,1
Sin cultivo	6,6	8,0	4,9	11,2	4,9	11,2
Otros cultivos verano	7,8	3,2	5,5	3,0	2,6	0,0
Hortalizas	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6	0,0
Leñosos	0,0	0,0	0,0	0,0	17,5	3,0
Dobles cosechas	7,5	0,0	25,3	0,0	25,3	0,0

A partir de la agregación de las demandas de agua de las comunidades se determinó la demanda total de RAA en toma de canal. La demanda en embalse se estimó con los datos de eficiencia de transporte proporcionados por la CHE. En el caso de los escenarios de futuro, se consideró una disminución de las pérdidas operacionales en transporte durante los meses de menor demanda, como consecuencia del incremento de regulación interna que proporcionará la modernización, equiparándolas a la de los meses de mayor demanda en los que el sistema opera en continuo.

5. Resultados y discusión

5.1 El aprovechamiento actual del agua

El IECR del conjunto de RAA durante los dos años de estudio se situó entre el 77 y el 80 % en canal (Tabla 2), y entre el 67 y el 69 % en embalse. No se observaron diferencias importantes entre las zonas con sistemas de riego presurizados y por superficie, a pesar de contar estas últimas con una baja eficiencia de riego en parcela (Playán et al., 2000; Lecina et al., 2000). Sin embargo, las comunidades con riego por superficie mostraron una mayor dispersión en sus valores de IECR (coeficiente de variación del 35 %) respecto a las de riego presurizado (15 %).

Uno de los motivos principales de este alto nivel de aprovechamiento físico del agua en las zonas con infraestructuras más antiguas es el reaprovechamiento de los retornos de riego. La gran extensión del territorio de RAA permite que una parte de las pérdidas de agua de las comunidades situadas a mayor cota sean aprovechadas para el riego en otras comunidades situadas a menor altitud. Estos retornos se captan tanto en los colectores como en los propios ríos que atraviesan la zona hacia el río Ebro.

Otro de los motivos fundamentales del alto IECR en las zonas de riego por superficie se debe precisamente a que al bajo nivel tecnológico de las mismas condiciona los cultivos. La escasa capacidad y flexibilidad de sus infraestructuras, una parcelación más intrincada, y la mayor necesidad de mano de obra, limitan el cultivo de la alfalfa y el maíz, que necesitan un

gran número de riegos y pueden ver afectado su rendimiento de forma importante por un retraso en el riego. Los cultivos como la cebada, el trigo, o el girasol ocupan el 25 % de la superficie con riego por gravedad, frente al 10 % en las comunidades con riego por aspersión. A estos cultivos con frecuencia se les somete a estrés hídrico dada su menor sensibilidad y rentabilidad, lo que provoca que las parcelas en las que se cultivan presenten valores altos de IECR, superiores al 100 % (Cardeña, 2004). Además, en estas zonas más antiguas predominan los regantes con una dedicación parcial, para los que la agricultura representa una actividad secundaria, así como agricultores de mayor edad sin perspectivas de relevo generacional.

Tabla 2. *Indicadores de aprovechamiento de agua desde canal en RAA (años 2003 y 2004)*

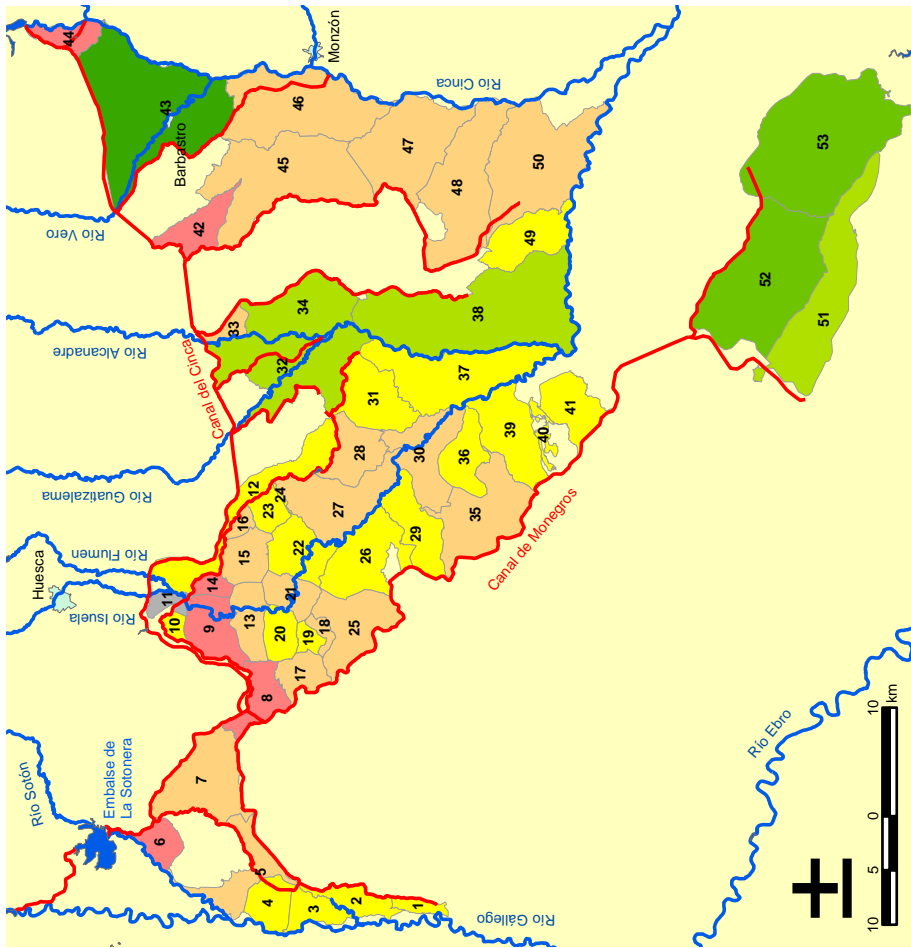
	Total		Riego por superficie		Riego presurizado	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004
IECR	77	80	77	80	78	81
Productividad superf. € ha ⁻¹	1.126	1.140	939	951	1.605	1.624
Productividad agua, € m ⁻³	0,181	0,177	0,154	0,151	0,247	0,241

Por estos motivos los altos niveles de IECR del riego por superficie no implican una mayor productividad del regadío (Tabla 2). En efecto, mientras que en este tipo de riego se obtuvo un valor bruto de 945 € ha⁻¹, en el riego presurizado la productividad por unidad de superficie fue un 71 % superior (1.615 € ha⁻¹), siendo la media para el conjunto de RAA de 1.133 € ha⁻¹. La productividad del agua también muestra diferencias relativas similares entre ambos tipos de riego, siendo de 0,152 € m⁻³ en el riego por gravedad frente a 0,244 € m⁻³ en el presurizado, con un valor conjunto de 0,179 € m⁻³, siendo en cualquier caso unas productividades bajas debido al bajo valor económico de los cultivos producidos.

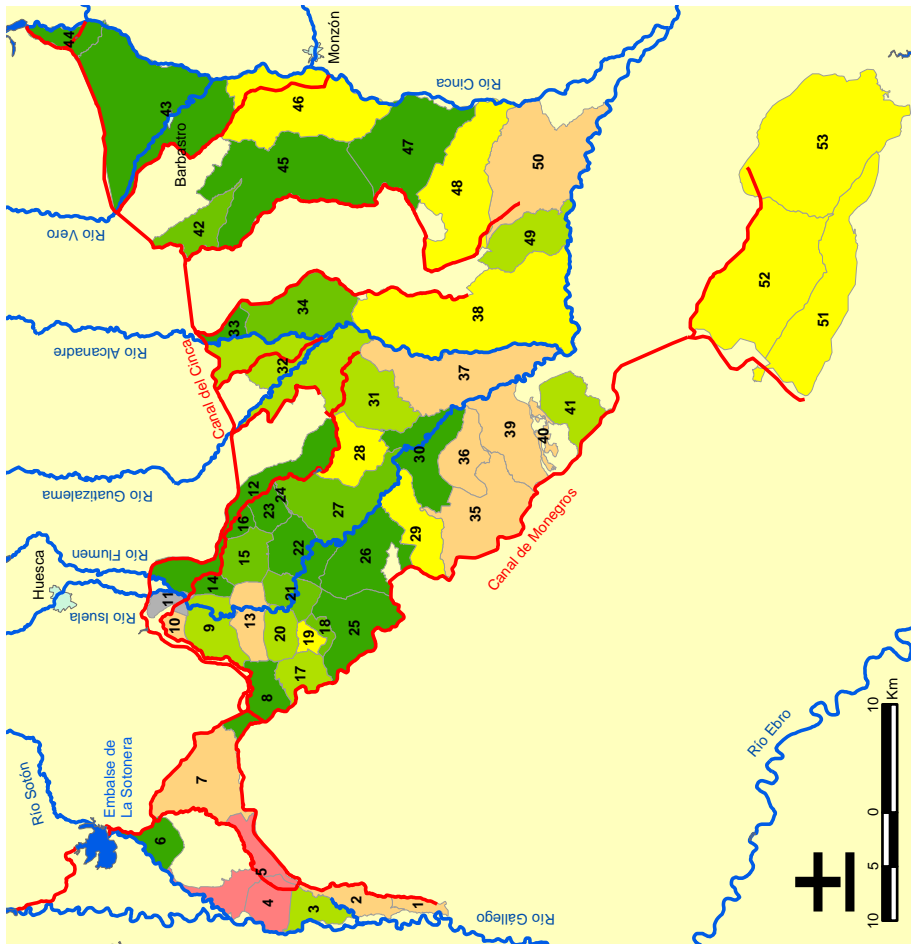
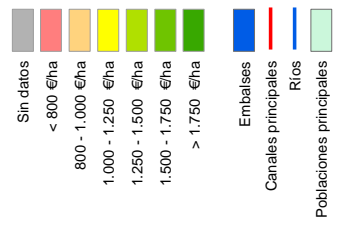
La Figura 2 expone la distribución espacial por comunidades de los valores promedio de IECR y productividad por unidad de superficie en los dos años de estudio. En la misma se puede comprobar la heterogeneidad de RAA, diferenciándose gráficamente aquellas comunidades en las que la necesidad de modernización resulta más perentoria.

5.2 Las consecuencias de la modernización en el aprovechamiento futuro del agua

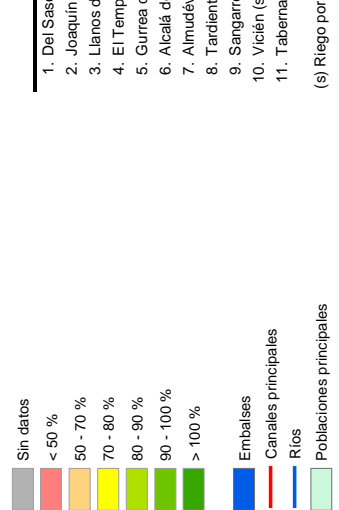
La modernización del regadío en RAA supone un incremento de las NHn en todos los escenarios estudiados, ya que todos ellos conllevan un incremento de la superficie ocupada por cultivos con mayores requerimientos de agua (Tabla 3). Este incremento, aunque ligero, se produce incluso en los escenarios en los que se ha mantenido el mismo patrón de cultivos actual por tipos de riego, debido a la mayor proporción de superficie con riego presurizado, con mayor presencia de maíz y alfalfa (Tabla 1). Todo ello implica un incremento de los usos consuntivos del agua en RAA, que podría ser todavía mayor dado que en la situación actual no se ha podido determinar el efecto del estrés hídrico que sufren los cultivos en las zonas con una baja calidad de riego en parcela (Lecina y Playán, 2006).



PRODUCTIVIDAD POR UNIDAD DE SUPERFICIE
PROMEDIO DE LAS CAMPAÑAS 2003 Y 2004



ÍNDICE ESTACIONAL DE CALIDAD DE RIEGO
PROMEDIO DE LAS CAMPAÑAS 2003 Y 2004



COMUNIDADES DE REGANTES

1. Del Saso (s)	12. La Corona (p)	23. Tramaced (s)	34. Alcanadre (p)	45. Val de Alferche (s)
2. Joaquín Costa (s)	13. Barbués (s)	24. Fraella (s)	35. Lanaja (s)	46. La Campaña (s)
3. Llanos de Camarera (s)	14. Albero Bajo (s)	25. Collarada 1ª sección (s)	36. Orllena (s)	47. Las Almacidas (s)
4. El Temple (s)	15. Callén (s)	26. Collarada 2ª sección (s)	37. Sector XI de Flumen (s)	48. San Pedro (s)
5. Gurrea de Gállego (s)	16. Piracés (s)	27. Sector VII de Flumen (s)	38. Lasesa (p)	49. Miguel Servet (s)
6. Alcalá de Gurrea (s)	17. Torralba de Aragón (s)	28. Abenuela-Sodeio (s)	39. Cartuja-San Juan (s)	50. Santa Cruz (s)
7. Almudévar (s)	18. Monte Frula (s)	29. Sector VIII de Monegros (s)	40. SAT 5007 (s)	51. Montesnegros (p)
8. Tardienta (s)	19. Vallonda (s)	30. Lalueza (s)	41. La Sabina (p)	52. San Miguel (p)
9. Sangarrén (s)	20. Torres de Barbués (s)	31. Sector X de Flumen (s)	42. San Juan (s)	53. Camdasnos (p)
10. Vicién (s)	21. Almuniente (s)	32. A-19-20 (p)	43. Nº 1 Canal del Cinca (s)	
11. Tabernas y Buñales (s)	22. Grañén-Flumen (s)	33. Pertusa (s)	44. El Grado (s)	

(s) Riego por superficie (p) Riego presurizado

Figura 2. Distribución por comunidades de regantes de los valores promedio de IECR y de la productividad por unidad de superficie en RAA (2003-2004)

El IECR global de RAA tras la modernización apenas se incrementa, debido a los altos valores actuales. Sin embargo, la modernización parcial del sistema permite incrementar en un 112 % la superficie en la que el IECR se encuentra dentro de un rango adecuado, sin déficits ni excesos acusados de riego. La modernización completa permitiría que toda la superficie regable se encontrase en esta situación (Figura 3).

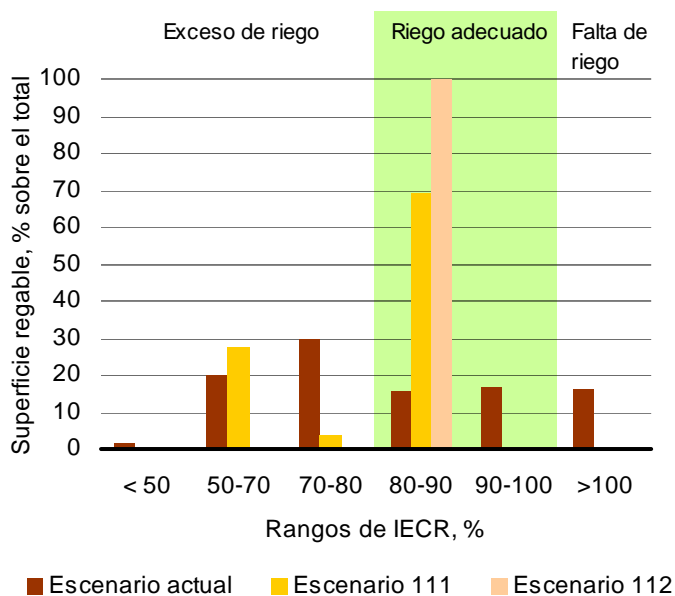


Figura 3. Superficie regable por rangos de IECR

supone diferencias en la demanda que no superan cuatro puntos porcentuales para un mismo patrón de cultivos, considerando el mayor nivel de gestión. No alcanzar ese nivel de gestión óptimo implica incrementar las demandas entre un 9 y un 23 % según los casos.

Aunque la modernización no vaya a suponer un ahorro de agua, sí que va a permitir realizar un mejor aprovechamiento económico de este recurso natural (Tabla 3). Respecto a la situación actual, y dependiendo del porcentaje de superficie en el que se actúe, la mejora de las infraestructuras implica un incremento en la producción económica de RAA entre un 18 y un 31 %, manteniéndose el mismo patrón de cultivos. El aumento de la superficie cultivada de alfalfa y maíz elevaría estos incrementos hasta un 27-47 %, mientras que la introducción de cultivos hortícolas y leñosos en un tercio de la superficie elevaría estos incrementos de producción final agraria hasta un 120-178 %.

Respecto a la productividad por unidad de superficie, la modernización supondría incrementarla en 561 € ha⁻¹ de media respecto al riego por gravedad con el patrón de cultivos actual, en 748 € ha⁻¹ con el aumento de los cultivos de maíz y alfalfa, y en 2.279 € ha⁻¹ con la introducción de cultivos de alto valor. Comparando estos incrementos con el gasto medio anual de 300 € ha⁻¹ que de media supone la modernización en RAA con las actuales condiciones de financiación, se comprueba la importancia de la diversificación de los cultivos, a pesar de la notable diferencia de costes de producción entre los mismos.

Por estos motivos, las demandas de agua totales escasamente varían manteniendo el patrón de cultivos actual, o introduciendo cultivos de mayor valor añadido en un tercio de la superficie. Por el contrario, se incrementan hasta en un 11 % en el caso de intensificarse la producción de maíz y alfalfa. Situaciones similares se han descrito en otras partes del mundo (Perry, 1999; Seckler et al., 2003).

La modernización total o parcial

Tabla 3. *Demanda de agua (estimada al 80 % de PNE), índice estacional de calidad de riego, producción final agraria, y productividad (calculada con una demanda de agua estimada al 50 % de PNE en canal) en RAA para cada escenario planteado*

	NHn hm ³	Demanda en canal hm ³	Demanda en emb. hm ³	Dotación en emb. m ³ ha ⁻¹	IECR en canal %	IECR en emb. %	Produc. m €	Product. superf. €ha ⁻¹	Product. agua €m ⁻³
Escen. actual	721,2	882,3	1.029,7	8.347	79	68	140,4	1.138	0,192
Escenario 111	746,2	924,5	1.058,2	8.579	79	69	166,4	1.349	0,218
Escenario 112	762,9	888,1	1.015,8	8.235	85	74	184,1	1.493	0,252
Escenario 121	746,2	1.004,7	1.150,0	9.323	73	64	166,4	1.349	0,201
Escenario 122	762,9	999,4	1.143,1	9.267	75	66	184,1	1.493	0,224
Escenario 211	783,4	960,5	1.100,0	8.917	81	71	178,3	1.446	0,225
Escenario 212	842,3	988,9	1.131,6	9.173	85	74	206,4	1.673	0,254
Escenario 221	783,4	1.050,3	1.202,8	9.751	74	64	178,3	1.446	0,206
Escenario 222	842,3	1.113,7	1.274,3	10.330	75	66	206,4	1.673	0,226
Escenario 311	730,6	900,4	1.031,4	8.361	80	70	308,4	2.500	0,414
Escenario 312	770,6	907,3	1.038,6	8.419	84	74	389,8	3.160	0,520
Escenario 321	730,6	982,2	1.125,1	9.121	73	64	308,4	2.500	0,380
Escenario 322	770,6	1.021,2	1.168,9	9.476	75	66	389,8	3.160	0,463

La evolución de la productividad del agua con la mejora del regadío muestra un comportamiento similar. Respecto a los 0,192 € m⁻³ actuales, la modernización permitiría incrementos entre el 13 y el 32 % para cultivos extensivos, y entre el 115 y el 170 % para los escenarios que incluyen cultivos hortícolas y leñosos, siendo este último rango similar al obtenido en las zonas modernizadas de Navarra (Riegos de Navarra, 2003).

Esta mejora de la productividad facilitaría afrontar el mayor nivel de gastos derivados del uso del agua y de las infraestructuras hidráulicas que implica el riego presurizado. En 2004, estos gastos supusieron un desembolso medio de 0,02291 € m⁻³ en las comunidades con este tipo de riego, frente a los 0,01249 € m⁻³ en las comunidades con riego por superficie. El impacto de estos gastos sobre la productividad del agua en los escenarios con cultivos de alto valor añadido es del 5 %, frente al 10 % en los escenarios que únicamente contemplan cultivos herbáceos extensivos.

Un bajo nivel de gestión de las nuevas infraestructuras de riego y distribución de agua limitaría los incrementos de la productividad del agua a valores entre un 4 y un 17 % en los dos primeros grupos de escenarios, y entre un 98 y un 140 % en el tercero. A ello habría que añadir el sobrecoste que supondría la mayor demanda de agua que implica una peor gestión. Considerando el precio pagado por el agua bombeada en las comunidades con riego presurizado en 2004, estos sobrecostos varían entre 0,972 y 1,512 millones de euros para un año medio. Si se comparan estas cifras con el precio de la incorporación del nuevo sistema de gestión basado en ADOR adoptado en RAA (744.528 €), se comprueba la rentabilidad de la inversión en gestión.

Estos resultados muestran cómo la diversificación de cultivos y la adecuada gestión del agua permitirían afrontar con mayor garantía el pago de la inversión, reduciendo el impacto económico de las restricciones de agua en épocas de sequía, así como los riesgos que supone el incremento de precios de factores de producción como la energía. Igualmente se reducirían los riesgos de mercado que entraña el monocultivo de herbáceos extensivos en una agricultura en progresiva liberalización (OCDE, 2004). Este tipo de razones, entre otros motivos, son las que han provocado que los cultivos hortícolas y leñosos hayan doblado su presencia en California durante las últimas décadas, alcanzando el 58 % de la superficie regable. Este hecho ha supuesto que el riego por goteo se utilice ya en un 33 % del regadío, frente al 16 % del riego por aspersión (Orang et al., 2005).

Finalmente, destacar las positivas consecuencias que tendría multiplicar el actual valor de la producción final agraria en un territorio que apenas supera los ocho habitantes por kilómetro cuadrado. El estímulo que supondría para la actividad económica en otros sectores productivos, así como el incremento de la disponibilidad de recursos públicos para mejorar los servicios a la población, contribuirían a lograr un equilibrio territorial imprescindible para un desarrollo sostenible (MMA, 2002).

6. Conclusiones

1. En el periodo de estudio, el aprovechamiento físico del agua en el conjunto de RAA es alto, con un IECR en torno al 78 %. Sin embargo, el aprovechamiento económico es reducido (1.133 € ha^{-1} y $0,179 \text{ € m}^{-3}$), debido al bajo valor de los cultivos producidos y a la antigüedad de las infraestructuras hidráulicas.
2. La modernización de RAA va a suponer un incremento de la superficie dedicada a cultivos con mayores necesidades hídricas, lo que incrementará el uso consuntivo del agua, disminuyendo la disponibilidad de este recurso en la cuenca.
3. La modernización de RAA reducirá la superficie con un riego deficiente de forma drástica.
4. La diversificación productiva, junto a una adecuada gestión del agua, resultarán factores claves para incrementar la productividad económica de RAA.
5. La magnitud del incremento de la productividad económica dependerá del modo en que los agricultores aprovechen las capacidades de sus nuevas infraestructuras para diversificar su patrón de cultivos y aprovechar de forma más productiva el agua, dentro de un contexto de gestión empresarial en el que las decisiones de producción tengan en cuenta la evolución de los mercados.

6. El sistema de gestión basado en ADOR del que se ha dotado RAA ha permitido generar información que contribuirá a apoyar la toma de decisiones estratégicas en esta zona regable.
7. Los resultados obtenidos en este trabajo constituyen una primera aproximación al problema, requiriéndose estudios más detallados sobre las implicaciones hidrológicas y productivas de la modernización de los regadíos.

Agradecimientos

Se agradece la colaboración prestada en la realización de este trabajo por parte de los secretarios y guardas de las comunidades de regantes de Riegos del Alto Aragón, del personal de la CGRAA, y de los técnicos de la Confederación Hidrográfica del Ebro en la zona.

Referencias

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 56. FAO. Roma, Italia. 300 pp.
- Cardeña, G. 2004. Aplicación del programa Ador a la gestión del riego por superficie: la Comunidad de Regantes de La Campaña (Huesca). Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Lleida. Lérida, España. 109 pp.
- CGRAA, 2004. Gestión de la demanda y el embalse de Biscarrués. Comunidad General de Riegos del Alto Aragón. Huesca, España. 59 pp.
- Diputación General de Aragón, 2004. Estadística de precios agrarios (percibidos, pagados y salarios). Período 1990-2004. Servicio de Planificación y Análisis de la Secretaría General Técnica del Departamento de Agricultura. Diputación General de Aragón. Zaragoza, España. 44 pp.
- Faci, J.M., Bensaci, A., Slatni, A., Playán, E. 2000. A case study for irrigation modernisation: I. Characterisation of the district and analysis of water delivery records. *Agric. Wat. Manage.*, 42, 313-334.
- Lecina, S., Monserrat, J., Cots, L. 2000. El uso del agua en el regadío de Flumen (II). Zona noroccidental de la Acequia de Rufas (Huesca). *Riegos y Drenajes XXI*, 112, 39-41.
- Lecina, S., Playán, E., Isidoro, D., Dechmi, F., Causapé, J., Faci, J.M. 2005. Irrigation evaluation and simulation at the irrigation district V of Bardenas (Spain). *Agric. Wat. Manage.*, 73, 223-245.
- Lecina, S., Playán, E. 2006. A model for the simulation of water flows in irrigation districts: II. Application. *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, ASCE, 132(4):322-331.

Martínez-Cob, A., Faci, J.M., Bercero, A. 1998. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. Institución "Fernando el Católico". Zaragoza, España. 223 pp.

MMA, 2002. Estrategia Española de Desarrollo Sostenible. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 278 pp.

Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, J., Friture, C., Kloezen W.H. 1998. Indicator for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report 10, International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. 26 pp.

OCDE. 2004. Analysis of the 2003 CAP Reform. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. París, Francia. 50 pp.

Orang, M.N., Snyder, R.L., Matyac, J.S. 2005 Survey of irrigation methods in California in 2001. California Water Plan Update 2005. Volume 4. Statewide Water Planning Branch. Department of Water Resources. Sacramento, EEUU. 19 pp.

Perry, C. J. 1999. The IWMI water resources paradigm – definitions and implications. *Agric. Water Manage.* 40, 45-50.

Playán, E., Mateos, L., 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agric. Wat. Manage.*, 80, 100-116.

Playán, E., Slatni, A., Castillo, R., Faci, J.M. 2000. A case study for irrigation modernisation: II. Scenario Analysis. *Agric. Wat. Manage.*, 42, 335-354.

Playán, E., Cavero, J., Mantero, I., Salvador, R., Lecina, S., Faci, J.M., Andrés, J., Salvador, V., Cardeña, G., Ramón, S., Lacueva, J.L., Tejero, M., Ferri, J., Martínez-Cob, A. 2007. A database program for enhancing irrigation district management in the Ebro Valley (Spain). *Agric. Wat. Manage.*, 87, 187-199.

Riegos de Navarra, 2003. Oferta agroindustrial. Balance global 2003. Riegos de Navarra. Pamplona, España. 83 pp.

Seckler, D., Molden, D., Sakthivadivel, R. 2003. The concept of efficiency in water-resources management and policy. En: *Water productivity in Agriculture: limits and opportunities for improvement* (Eds L.W. Kijne, Barker, R., Molden, D.). CAB International 2003. pp. 37-51.

Tejero, M. 2003. Cálculo de la variabilidad temporal de las necesidades hídricas de los cultivos en las comarcas de Aragón. Proyecto Fin de Carrera. Universidad de Lleida. Lérida, España. 287 pp.