

AHORRO DE AGUA Y MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS (WATER SAVING AND IRRIGATION MODERNIZATION)

Lecina Brau, S. ⁽¹⁾, Isidoro Ramírez, D. ⁽²⁾, Playán Jubillar, E. ⁽³⁾, Aragüés Lafarga, R. ⁽⁴⁾

- (1) Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA). Unidad de Suelos y Riegos (asociada a la EEAD-CSIC). Avda. Montañana 930. 50059 Zaragoza (España). slecina@aragon.es
- (2) Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA). Unidad de Suelos y Riegos (asociada a la EEAD-CSIC). Avda. Montañana 930. 50059 Zaragoza (España). disidoro@aragon.es
- (3) Estación Experimental de Aula Dei (EEAD-CSIC). Departamento de Suelo y Agua. Apdo. 13.034. 50080 Zaragoza (España). enrique.playan@eead.csic.es
- (4) Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA). Unidad de Suelos y Riegos (asociada a la EEAD-CSIC). Avda. Montañana 930. 50059 Zaragoza (España). raragues@aragon.es

RESUMEN / ABSTRACT

La modernización de regadíos está suponiendo una profunda transformación de la estructura productiva del sector agrario español. Sus implicaciones superan el ámbito de las infraestructuras hidráulicas, al implicar la conversión de una agricultura protegida en una agricultura competitiva. Una de las consecuencias de este proceso es el cambio en el modo de aprovechar los recursos hídricos en el sector agrario. Un cambio que a su vez va a tener repercusiones en la hidrología de las cuencas. En este artículo se analizan las consecuencias de la modernización sobre el consumo de agua aplicando la metodología de la contabilidad del agua. Para ello se han considerado los resultados obtenidos en distintos proyectos de investigación desarrollados en la cuenca del Ebro. La sustitución de sistemas de riego por superficie por sistemas de riego presurizados supondrá un aumento del consumo de agua. No obstante, la magnitud de este impacto estará supeditada a la mejora de la gestión del agua y la evolución de los precios de las materias primas agrarias y de la energía.

Irrigation modernization is leading to a deep transformation of the productive structure of the Spanish agriculture. Their implications overcome the scope of the hydraulic infrastructures implying the transformation from protective to competitive agriculture. One consequence of this process is the change in the way that agriculture uses the water resources. This change in turn has implications for the hydrology of the river basins. This paper analyses the consequences of the irrigation modernization in water consumption applying the concepts of the water accounting. The results obtained in several research projects performed in the Ebro River Basin have been used for this purpose. The change of surface irrigation systems by pressurized systems will imply an increase of water consumption. Nevertheless, the magnitude of this impact will be subordinate to the improvement of water management and the variations of the prices in agricultural commodities and energy.

Palabras clave: calidad del agua, contabilidad del agua, consumo de agua, eficiencia de riego, uso del agua.

Key words: irrigation efficiency, water accounting, water consumption, water quality, water use

1. LA MODERNIZACIÓN DE REGADÍOS EN ESPAÑA Y SU CONTEXTO SOCIOECONÓMICO

El crecimiento económico experimentado por el país durante las últimas décadas ha producido un incremento de la demanda de recursos hídricos. Los efectos negativos de los periodos de sequía que cíclicamente se producen en gran parte del territorio se han agravado como consecuencia del incremento de la demanda de agua. Estas situaciones de escasez han conducido a una mayor competencia por el agua,

llegando a generar conflictos entre diferentes usos, usuarios y territorios (Benoit y Comeau, 2005; INE, 2006; MARM, 2007).

Desde hace más de una década, las Administraciones Públicas han adoptado una serie de medidas orientadas a paliar esta situación. Las mismas se han articulado en torno al Plan Hidrológico Nacional (MARM, 2001; MARM, 2005), estando basadas principalmente en actuaciones de gestión de la demanda de agua. Entre las más destacadas figura la modernización de regadíos, desarrollada a través del Plan Nacional de Regadíos y el Plan de Choque de Modernización de regadíos (MARM, 2002; MARM, 2006).

La agricultura de regadío es el sector que más agua demanda (INE, 2006). Su importancia económica no sólo se circunscribe al ámbito agrario, ya que produce materias primas que posteriormente son transformadas por el subsector ganadero y por la industria agroalimentaria, una de las de mayor dimensión del país (MARM, 2007). Por este motivo, los planes de modernización no sólo han pretendido mejorar el aprovechamiento del agua por la agricultura, sino también incrementar su productividad y competitividad, entre otros aspectos (MARM, 2002).

Al finalizar el pasado siglo, el regadío español se caracterizaba por un bajo nivel tecnológico. En efecto, el 59% de la superficie regable utilizaba sistemas de riego por superficie cuya antigüedad superaba mayoritariamente los 25 años (Forteza del Rey, 2002). La mayor parte de estas antiguas zonas regables se localizaban en el interior del país, donde se concentra el 72% de la superficie regable nacional, siendo los cultivos herbáceos extensivos su principal orientación productiva (INE, 1999). Esta situación ponía en riesgo la sostenibilidad económica, social y medioambiental de los regadíos ante la liberalización de los mercados agrarios, la disminución de las subvenciones agrarias, la escasez de mano de obra en las zonas rurales, la creciente competencia por el agua y las exigencias medioambientales establecidas por la Directiva Marco del Agua (Unión Europea, 2000). De este modo, con la modernización de las infraestructuras de riego se inició un proceso de transformación de una agricultura protegida en una agricultura competitiva.

Durante la pasada década, los planes de modernización han contemplado la mejora de 2 M ha de regadío. El sector agrario, con la ayuda de las Administraciones Públicas, ha invertido en torno a 7.400 M € en este proceso (MARM, 2002; MARM, 2006). La transformación de los antiguos sistemas de riego por gravedad en sistemas de riego presurizados está constituyendo la principal actuación de mejora. Este cambio de sistema de riego, así como la necesidad de asegurar la viabilidad económica de las explotaciones agrarias, están configurando una profunda modificación del modo de aprovechar los recursos hídricos en el regadío. Modificación que va a afectar a la hidrología de las cuencas, dada la magnitud del proceso y del volumen de agua demandado por la agricultura.

En este artículo se analizan conceptualmente las consecuencias que sobre el uso del agua tendrá la modernización de regadíos. Su objetivo es contribuir a seguir mejorando la planificación y gestión de los recursos hídricos. Para ello se ha tomado la cuenca del Ebro como caso de estudio, considerado los resultados obtenidos en distintos proyectos de investigación y aplicando los conceptos de la contabilidad del agua. En el siguiente capítulo se exponen las principales características de esta metodología.

2. LA CONTABILIDAD DEL AGUA COMO HERRAMIENTA DE ANÁLISIS

La planificación y gestión del agua en la agricultura se ha basado tradicionalmente en la determinación de la eficiencia de riego. La eficiencia relaciona el volumen de agua realmente aprovechado para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos con el volumen total de agua utilizado (Burt et al., 1997).

Este concepto, sencillo e intuitivo, resulta de gran utilidad en el diseño y programación de regadíos. Sin embargo, el análisis del impacto hidrológico del regadío requiere contemplar una serie de principios hidrológicos que el concepto de eficiencia de riego no incluye (Willardson et al., 1994; Seckler, 1996; Perry, 1999; Perry, 2007; Lecina et al., 2009). Este análisis hidrológico resulta imprescindible para abordar situaciones de escasez de agua en una cuenca.

El primero de estos principios es la distinción entre uso y consumo de agua. Mientras que el uso se refiere al volumen total de agua aplicada, el consumo constituye la parte de dicho uso que deja de estar disponible para otros usuarios en la cuenca.

Del principio anterior se deriva la capacidad de reuso del agua. En el caso del regadío, la fracción de agua aplicada que es evapotranspirada por los cultivos supondría un uso consuntivo. Sin embargo, los retornos de riego, es decir, la fracción que sale de la parcela por escorrentía o percolación, serían susceptibles de ser reutilizados por otros usuarios situados aguas abajo. Esta posibilidad de reuso dependería a su vez de dos factores: la localización de la parcela en la cuenca y la calidad de los retornos de riegos. Una parcela situada junto a la costa, un lago salado o un acuífero no explotable impediría la reutilización de este agua por otros usuarios. Igualmente sucedería si su calidad se hubiera degradado hasta un nivel que impidiera su posterior reuso. En ambos casos los retornos de riego también supondrían un consumo de agua.

La contabilidad del agua ha sido propuesta para analizar el impacto hidrológico del regadío en una cuenca (Molden y Sakthivadivel, 1999; Clemmens et al., 2008; Perry et al., 2009). Esta metodología se basa en el principio de conservación de la masa mediante la aplicación de balances de agua. La realización de estos balances exige conocer los destinos del agua que se aplica en el regadío. Estos destinos, o componentes del balance, serían los siguientes:

- **Evapotranspiración productiva:** se corresponde con la evapotranspiración de los cultivos que se riegan.
- **Evapotranspiración no productiva:** englobaría la evapotranspiración de la vegetación adventicia y freatofita que se desarrolla en las parcelas y junto a las conducciones abiertas de agua, así como la evaporación directa desde las láminas libres de agua como balsas, canales y acequias.

- **Escorrentía/Percolación recuperable:** comprende los retornos de riego que se producen por escorrentía y percolación que, debido a su localización y a su calidad, pueden ser reutilizados por otros usuarios en la cuenca.
- **Escorrentía/Percolación no recuperable:** distingue los retornos de riego que por la degradación de su calidad o/y por fluir directamente al mar, lagos salados o acuíferos no explotables, no pueden ser reutilizados por otros usuarios en la cuenca.

A partir de estos componentes del balance se pueden determinar una serie de fracciones que permiten describir la forma en que se está utilizando el agua. Una de ellas sería la fracción consuntiva, que sería el cociente entre la suma de la evapotranspiración y la escorrentía/percolación no recuperable, y el volumen total de agua usado. La fracción no consuntiva, es decir, la que indicaría la proporción de agua que podría reutilizarse, sería la fracción complementaria a la anterior, correspondiéndose con la escorrentía/percolación no recuperable.

La eficacia productiva con la que se está aprovechando el agua se obtendría a partir de la determinación de productividades (Playán y Mateos, 2006; Molden et al., 1998). Estos indicadores relacionan el valor de la producción obtenida con el volumen usado o consumido. La productividad basada en el uso del agua sería de interés para el agricultor, al pagar el agua o/y tener cupos asignados en función de dicho volumen. Sin embargo, desde una perspectiva hidrológica, la productividad determinada a partir del agua consumida sería de mayor interés, al ser el volumen que ya no se puede reutilizar y, por tanto, que ya no puede seguir generando valor.

En la determinación de estas productividades también debe considerarse la escala espacial, ya que a mayor escala debe incluirse el valor añadido generado por la transformación de las materias primas agrarias (Hussain et al., 2007). Así, a una escala regional o nacional, la productividad del agua utilizada para producir un tomate en fresco puede ser similar a la de un cereal, al considerarse el valor de la carne u otros productos agroalimentarios en los que se haya transformado dicho cereal.

Considerando estos conceptos recogidos por la contabilidad del agua, así como el contexto socioeconómico anteriormente descrito, en el siguiente capítulo se analiza el impacto de la modernización del regadío sobre los componentes del balance de agua.

3. EFECTOS DE LA MODERNIZACIÓN SOBRE EL BALANCE DE AGUA

3.1. *Evapotranspiración productiva*

Las antiguas zonas regables de riego por gravedad se caracterizan por presentar una baja eficiencia y una uniformidad moderada. Cuando fueron transformadas, esta técnica de riego era la única disponible, aplicándose en zonas cuyos suelos presentaban características de infiltración y capacidad de retención de agua que limitan la eficiencia del riego por gravedad.

La propia antigüedad de las infraestructuras de riego también constituye un factor limitante. La agricultura del país en la época en la que fueron construidas era muy diferente a la actual. Su diseño se realizó de acuerdo con dicha agricultura, basada principalmente en la producción de cereales de invierno con los que proporcionar alimentos básicos a la población. Durante las últimas décadas, el crecimiento económico ha motivado una intensificación agraria, lo que ha conducido a incrementar la producción de cultivos de verano, más productivos, pero que a su vez presentan generalmente unas mayores necesidades hídricas. La reducida capacidad de las redes de acequias, y su rigidez en la distribución de agua, suponen prolongados intervalos de riego, provocando estrés hídrico en los cultivos, limitando a su vez una mayor intensificación del patrón de cultivos.

Estudios realizados en las zonas regables de Bardenas, Riegos del Alto Aragón y otras del valle del Ebro han comprobado como la eficiencia media de riego en parcela en regadíos por gravedad se sitúa en torno al 50%, aunque este valor presenta una gran variabilidad en función de las características de los suelos, el caudal disponible y la gestión del riego. Los intervalos medios de riego durante las épocas de mayor demanda de agua oscilan entre 12 y 14 días. La evapotranspiración de los cultivos apenas alcanza una media del 85% de sus necesidades hídricas potenciales debido a estos factores. Dada la relación lineal entre evapotranspiración y biomasa producida (Steduto et al., 2007), el rendimiento de los cultivos se reduce en torno al 25% de su potencial, lo que a su vez disminuye la productividad del agua (Faci et al., 2000; Isidoro et al., 2004; Lecina et al., 2005; Lecina y Playán, 2006; Playán et al., 2000; Salvador et al., 2011).

Una de las consecuencias de la modernización será la mejora de la calidad del riego. Las nuevas infraestructuras hidráulicas permitirán distribuir el agua con mayor flexibilidad y aplicarla con mayor eficiencia, al igual que los fertilizantes, gracias a los sistemas de fertirriego. Asimismo, facilitará la intensificación del patrón de cultivos al tener las nuevas redes una mayor capacidad de distribución de agua.

Estudios efectuados en nuevas zonas regables con riego presurizado en el valle medio del Ebro han determinado eficiencias en parcela en torno al 80%, con niveles de evapotranspiración y de rendimiento de los cultivos cercanos a su potencial, así como patrones de cultivo con una mayor proporción de cultivos de verano (Tedeschi et al., 2001; Caverro et al., 2003; Zapata et al., 2009; Salvador et al., 2011). Durante el periodo 1996-2002, el 69% de la superficie regada mediante sistemas presurizados en la cuenca del Ebro producía cultivos de verano de altas necesidades hídricas (excluidos el olivo y la vid). En las zonas regadas por gravedad esta proporción era del 53% (Lecina et al., 2010a). Esta mayor productividad de los nuevos regadíos presurizados constituye el motivo principal por el que el sector está invirtiendo en la mejora de sus infraestructuras hidráulicas.

La aplicación de técnicas de riego deficitario controlado podría disminuir el incremento de evapotranspiración productiva tras la modernización. El objetivo de estas técnicas es maximizar la producción obtenida por unidad de agua aplicada y, en determinados casos, incrementar la calidad de las

cosechas. No obstante, su aplicación está supeditada a su rentabilidad, por lo que generalmente está limitada a cultivos de alto valor añadido en zonas con escasa disponibilidad de agua.

3.2. Evapotranspiración no productiva

La evapotranspiración de la vegetación adventicia se produce principalmente en las márgenes que separan los tablares y las parcelas en las zonas de riego por gravedad. Asimismo, la vegetación freatofita es importante en redes de acequias no revestidas y en azarbes abiertos. Asimismo, las conducciones abiertas ofrecen láminas libres en las que se produce evaporación directa del agua a la atmósfera (Luján, 1992).

Las nuevas infraestructuras hidráulicas presurizadas disminuyen las pérdidas de agua en las conducciones, lo que reduce sustancialmente la aparición de vegetación freatofita. Asimismo, al eliminarse la división en tablares de las parcelas, se reduce la vegetación adventicia, siendo sustituida por los propios cultivos. En zonas regables del valle medio del Ebro se ha determinado que estas márgenes llegan a ocupar hasta el 7% de la superficie regable (Lecina et al., 2010b). La evaporación directa apenas se modifica ya que aunque las conducciones de agua son cerradas, las balsas de regulación interna presentan láminas libres que normalmente no existían antes de la modernización.

El volumen de la evapotranspiración no productiva debida a estos factores es escaso respecto al volumen total de agua de riego usada en una zona regable (Krinner et al., 1994), por lo que el impacto absoluto de la modernización es escaso. Sin embargo, cuando la modernización supone la transformación a riego por aspersión, este componente del balance se incrementa sustancialmente debido a las pérdidas por evaporación y arrastre que se producen en este tipo de riego. Dependiendo de las condiciones meteorológicas, de la configuración del sistema de riego y de su manejo, estas pérdidas pueden llegar a suponer entre el 10 y el 20% del volumen total de agua aplicado (Dechmi et al., 2003; Playán et al., 2005; Zapata et al., 2007). Una pequeña parte de estas pérdidas puede contribuir a reducir la evapotranspiración del cultivo (Martínez-Cob et al., 2008).

3.3. Escorrentía/Percolación

La escorrentía y percolación están directamente relacionadas con la eficiencia de riego en parcela. Atendiendo a los estudios anteriormente indicados, las antiguas zonas regables de riego por gravedad presentan volúmenes medios de retorno en parcela del 50% del agua aplicada. Los retornos de riego de las zonas con riego presurizado son notablemente más reducidos debido a la mayor eficiencia de riego en parcela. Los volúmenes de escorrentía y percolación oscilan entre el 5% y el 11%.

La posibilidad de reutilización de estos retornos de riego está determinada por su calidad y la localización de las zonas regables. En la cuenca del Ebro, únicamente el 6% de la superficie regable se encuentra a menos de 100 km del mar Mediterráneo siguiendo el curso del río. La influencia de lagos

salados o acuíferos no explotables en la intercepción de retornos en zonas regables de interior es muy reducida (CHE, 2005).

La calidad del agua de los retornos de riego está determinada por varios procesos, entre los que destacan la evapoconcentración y el aporte de contaminantes (Aragüés y Tanji, 2003). La evapoconcentración tiene un impacto reducido en la cuenca del Ebro dado que la concentración de sales de las aguas de riego es generalmente baja. Esta buena calidad permite a su vez alcanzar elevadas eficiencias de riego en los regadíos modernizados al no requerirse fracciones importantes de lavado de sales (Causapé et al., 2006).

El efecto de aporte de contaminantes se reduce sustancialmente con la modernización. El incremento de la eficiencia de riego disminuye los volúmenes de escorrentía y percolación, lo que a su vez reduce el arrastre de agroquímicos y de sales del suelo (Tabla 1) (Basso, 1994; Causapé et al., 2004a; Causapé et al., 2004b; Caverio et al., 2003; Isidoro et al., 2006a; Isidoro et al., 2006b; Tedeschi et al., 2001). La calidad de las masas de agua receptoras de los retornos de riego se beneficia de este efecto positivo de la modernización, contribuyendo a cumplir lo exigido por la Directiva Marco del Agua.

Tabla 1. Caracterización de los retornos de riego por sistema de riego en varias zonas regables del valle medio del Ebro que utilizan aguas de baja salinidad (<0.4 dS m⁻¹ a 25°C).

			Retornos de riego anuales					
Zona	Área	Salinidad suelo	Volumen	SDT	NO ₃ ⁻	Masa sales	Masa NO ₃ ⁻	Péridid. NO ₃ ⁻
	ha	CE _e dS m ⁻¹	m ³ ha ⁻¹	mg l ⁻¹	mg l ⁻¹	t ha ⁻¹	kg NO ₃ ⁻ ha ⁻¹	% s/ fertiliz.
GRAVEDAD								
Bardenas A	95	< 2,0	7.550	541	58	4	98	44
Bardenas B	216	< 2,0	11.130	423	77	5	195	56
Bardenas C	409	2,0-6,0	6.350	2,170	-	14	-	-
Violada	3.866	2,2 (yesos)	9.890	1,751	28	20	83	26
Media			9.590	1,702	31	19	89	28
ASPERSIÓN								
Monegros II A	494	2,0-6,0	480	-	125	-	14	10
Monegros II B	470	2,0-6,0	1.940	6.983	112	14	49	22
Media			1.192	6.983	119	14	31	16

La intensificación del patrón de cultivos que conlleva la modernización implica a su vez un incremento de la aplicación de fertilizantes y pesticidas. Este mayor uso podría suponer un incremento de la masa total de agroquímicos exportada desde las zonas regables. Sin embargo, los estudios realizados hasta el momento indican que, en general, este efecto no se produce al mejorarse la eficiencia de la aplicación de estos productos además de la del agua (Tedeschi et al., 2001; Caverro et al., 2003).

Como consecuencia de estos factores de localización y calidad, la mayor parte de las aguas de retorno de la cuenca del Ebro son reutilizables (Isidoro y Aragüés, 2007). Este hecho se comprueba en las propias zonas regables por gravedad, donde aproximadamente un 30% de sus aguas de escurrimiento/percolación son reutilizadas en las mismas zonas regables donde se originan cuando estas tienen una superficie del orden de decenas de miles de hectáreas (Causapé, 2009).

Esta capacidad de reutilización de los retornos de riego en la cuenca determina a su vez la capacidad de la modernización para ahorrar agua, tal como se describe a continuación.

4. LA MODERNIZACIÓN Y EL AHORRO DE AGUA

La distinción que la contabilidad del agua realiza entre uso consuntivo y no consuntivo permite determinar el ahorro de recursos hídricos que puede conseguirse mediante la modernización de regadíos. Únicamente es posible ahorrar agua reduciendo su consumo, por lo que necesariamente se tiene reducir la evapotranspiración y la escurrimiento/percolación no recuperable.

Los cambios que la modernización orientada a incrementar la productividad agraria provoca en el balance de agua de las zonas regables suponen un notable incremento de la evapotranspiración. Este aumento es mayor en las zonas que se transformen a riego por aspersión, dado que al incremento de la evapotranspiración productiva se sumará el incremento de la no productiva como consecuencia de las pérdidas por evaporación y arrastre.

El único componente del balance de agua cuya reducción permitiría ahorrar agua sería la escurrimiento/percolación no recuperable. Sin embargo, como se ha indicado, en la cuenca del Ebro el volumen de retornos de riego que no pueden reutilizarse es reducido, dada la calidad de los mismos y la escasa superficie regable localizada junto al mar.

La Tabla 2 y la Figura 1 exponen un ejemplo del impacto hidrológico que puede tener la modernización en la zona regable de Riegos del Alto Aragón (RAA), localizada en el valle medio del Ebro (Lecina et al., 2010b; Playán et al., 2007). Este regadío, representativo de las grandes zonas regables ejecutadas durante el siglo XX en el interior del país, tiene una superficie de 125.000 ha repartida en 53 comunidades de regantes en la que se producen mayoritariamente cultivos herbáceos extensivos.

Antes del proceso de modernización, RAA contaba con un 73% de superficie regada por gravedad y un 27% regada por sistemas presurizados, mayoritariamente por aspersión. El periodo previo a la

modernización se caracterizó mediante las campañas 2003 y 2004. El patrón de cultivos presentaba una mayor proporción de cultivos de verano en la superficie regada por aspersión, donde el maíz y la alfalfa ocupaban el 75% de la superficie. En riego por gravedad, estos cultivos suponían el 54% de la superficie.

Actualmente, 52.318 ha se encuentran en proceso de modernización o ya lo han concluido. El nuevo sistema de riego adoptado es el de aspersión. La Tabla 1 muestra la contabilidad del agua antes de la modernización, y la estimación de la misma tras la finalización de este proceso. Para ello se han aplicado a las superficies que cambian su sistema de riego las características del uso del agua de la superficie que ya regaba por aspersión antes del inicio de la modernización.

Tabla 2. Contabilidad del agua promedio de las campañas 2003 y 2004 en Riegos del Alto Aragón (no se incluyen superficies de viñedo regadas por goteo y zonas todavía por transformar).

	Gravedad 2003-2004	Aspersión 2003-2004	RAA 2003-2004	RAA tras moderniz.
SUPERFICIE (ha)	88.325	32.429	120.754	120.754
ENTRADAS -agua usada- (hm³)	509	203	711	790
SALIDAS (hm³)				
Evapotranspiración	337	190	526	664
Evapotranspiración productiva	332	157	489	578
Evapotranspiración no productiva	5	33	38	86
Escorrentía/Percolación	172	13	185	126
Escorrentía/Percolación no recuperable	13	0	13	5
Escorrentía/Percolación recuperable	160	13	172	121
INDICADORES HIDROLÓGICOS				
Volumen unitario usado (m³/ha)	5,762	6,247	5,892	6,546
Volumen unitario consumido (m³/ha)	3,953	5,860	4,465	5,544
Consumo sobre uso total (%)	69	94	76	85
Consumo productivo sobre consumo total (%)	95	83	91	86
INDICADORES ECONÓMICOS				
Valor neto de la producción (M€)	44	24	68	87
Productividad neta del suelo (€/ha)	495	748	563	719
Productividad neta del agua usada- (€/m³)	0,086	0,120	0,096	0,110

(*) Valores redondeados a números enteros

El consumo de agua se incrementa un 24% debido al aumento de la evapotranspiración de los cultivos y las pérdidas por evaporación y arrastre de los nuevos sistemas de aspersión. La escorrentía/percolación no recuperable, aunque se reduce drásticamente, representa un volumen muy pequeño respecto al total del agua usada, dada su calidad y la localización de RAA a más de 250 km de la desembocadura del Ebro.

El uso de agua también se incrementa (11%), al ser mayor el aumento de la evapotranspiración que la reducción de la escorrentía/percolación motivada por la mejora de la eficiencia de riego. El menor volumen de retornos reducirá la exportación de contaminantes desde RAA hacia las masas de agua de la cuenca, lo que supondrá una mejora de la calidad de las mismas. No obstante, la reducción de la escorrentía/percolación puede significar una disminución importante del caudal en los cursos de agua naturales cuyos caudales provienen mayoritariamente de los retornos del riego por gravedad durante el verano.

El valor neto de la producción agraria aumenta un 28% como consecuencia de la mejor satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos, siendo este el objetivo último de la inversión en modernización por parte de los agricultores. El consumo de agua se incrementa al aumentar la productividad por unidad de superficie, estando ambas variables relacionadas con la tecnología de riego utilizada (Figura 1).

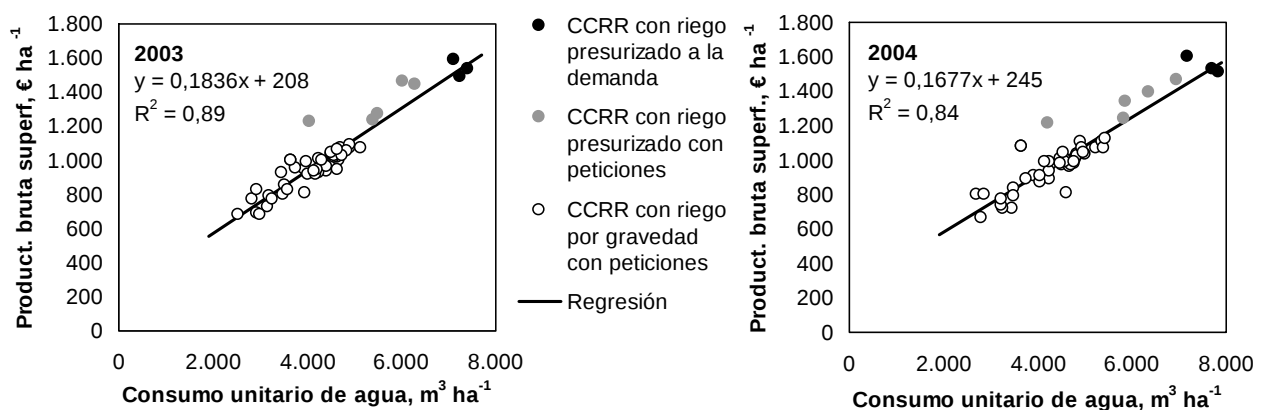


Figura 1. Relación entre el consumo unitario de agua y la productividad bruta por unidad de superficie por comunidades de regantes, según su tecnología de riego, durante las campañas 2003 y 2004 en Riegos del Alto Aragón.

El incremento de consumo de agua que se estima se producirá en RAA tras el proceso de modernización estará condicionado por varios factores. La gestión que se realiza de los nuevos sistemas de riego podría reducir el aumento de consumo manteniendo el nivel productivo al reducir las pérdidas por evaporación y arrastre. Varios estudios han demostrado como la productividad actual de las zonas regadas por aspersión, aunque mayor que las de riego por gravedad, no alcanza el potencial de este sistema de riego en la zona (Salvador et al., 2011; Zapata et al., 2009).

La evolución futura de los precios de las materias primas agrarias y de la energía determinará la rentabilidad de las explotaciones agrarias, y con ello el patrón de cultivos y el consumo de agua (IBRD, 2009; OCDE-FAO, 2010). La menor competitividad de las zonas no modernizadas podría hacer inviable la continuidad de su actividad, lo que supondría anular su consumo de agua, pudiendo llegar a compensar el incremento que se produzca en las zonas modernizadas. Un incremento de la rentabilidad, podría por el contrario incentivar la modernización de aquellas zonas que no lo hayan hecho, lo que implicaría un

incremento adicional del consumo. Un mayor consumo supondría una mayor competencia por el agua, que junto a los factores antes mencionados podría incrementar la aplicación de técnicas de riego deficitario controlado.

5. CONCLUSIONES

La modernización de regadíos orientada al incremento de la productividad agraria supone un incremento del consumo de agua. En los casos en que se adopta el riego por aspersión el incremento de consumo es mayor, dado que a la mayor evapotranspiración de los cultivos se añaden las pérdidas por evaporación y arrastre. Únicamente las zonas que presentan un volumen de escorrentía/percolación no recuperable importante, como las situadas cerca de la costa, pueden reducir su consumo y, por tanto, ahorrar agua.

La modernización de regadíos mejora la calidad de las masas de agua receptoras de los retornos de riego. La reducción del volumen de escorrentía y percolación reduce la exportación de contaminantes, pero a su vez puede exigir un cambio en la gestión de embalses en aquellas zonas con ríos en los que su caudal estival dependía mayoritariamente de los retornos de riego.

Tras la modernización de las infraestructuras se debe modernizar su gestión para obtener el máximo beneficio de la inversión realizada. La mejora de la gestión de los nuevos sistemas de riego permitiría reducir el consumo no productivo de agua incrementando su productividad.

La contabilidad del agua constituye una herramienta de gran utilidad para evaluar el impacto hidrológico del regadío en una cuenca. Su aplicación de forma detallada en las zonas regables permitiría cuantificar y particularizar las conclusiones generales obtenidas en el presente estudio, generando información de alto valor añadido para abordar las situaciones de escasez de agua y optimizar la productividad agraria.

La evolución futura del consumo de agua del sector agrario estará influenciada por múltiples factores, además de la modernización de regadíos. Estudios multidisciplinarios deben ser abordados para optimizar la toma de decisiones en la planificación y gestión de los recursos hídricos en la agricultura.

REFERENCIAS

- Aragüés, R. and Tanji, K.K. (2003): Water Quality of Irrigation Return Flows. In: Encyclopedia of water science. Stewart B.A., Howell T.A. (eds.). 502-506. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Basso, L. (1994): Los retornos salinos del polígono de riego Bardenas I y su contribución a la salinización de los ríos Arba y Riguel. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 224 pp.

Benoit, G. and Comeau, A. (2005): A Sustainable Future for the Mediterranean: The Blue Plan's Environment and Development Outlook. UNEP-MAP-Blue Plan. Earthscan, London, UK, 464 pp.

Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesner, R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A. and Eisenhauer, D.E. (1997): Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *J. Irrig. and Drain. Engrg.* 123(6), 423-442.

Causapé, J., Quílez, D. and Aragüés, R. (2004a): Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level - I. Irrigation quality, *Agric. Wat. Manage.*, 70(3), pp. 195-209.

Causapé, J., Quílez, D. and Aragüés, R. (2004b): Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level - II. Salt and nitrate loads in irrigation return flows, *Agric. Wat. Manage.*, 70(3), pp. 211-228.

Causapé, J., Quílez and D., Aragüés, R. (2006): Irrigation efficiency and quality of irrigation return flows in the Ebro River Basin: An overview. *Environmental Monitoring and Assessment* 117(1-3), 451-461.

Causapé, J. (2009): Agro-environmental evaluation of irrigation land I. Water use in Bardenas irrigation district (Spain). *Agric. Wat. Manage.* 96(2), 179-187.

CHE (2005): Caracterización de la demarcación y registro de zonas protegidas. Implantación de la Directiva Marco del Agua, Demarcación Hidrográfica del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro, Zaragoza, 246 pp.

Clemmens, A. J., Allen, R. G. and Burt, C. M. (2008): Technical concepts related to conservation of irrigation and rainwater in agricultural systems. *Water Resources Research* 44, 16 pp.

Dechmi, F., Playán, E., Caverro, J., Faci, J. M. and Martínez-Cob, A. (2003): Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*). *Irrig. Sci.* 22(2), 67-77.

Faci, J.M., Bensaci, A., Slatni, A. and 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.

Forteza del Rey, V. (2002): El Plan Nacional de Regadíos. *Agricultura* 842, 554-556.

Hussain, I., Turrall, H., Molden, D. and Ahmad, M. U. D. (2007): Measuring and enhancing the value of agricultural water in irrigated river basins. *Irrig. Sci.* 25(3), 263-282.

IBRD. (2009): Global Economic Prospects. Commodities at the crossroads. International Bank for Reconstruction and Development. The World Bank. Washington DC, USA. 180 pp.

INE. (1999): Censo agrario. Instituto Nacional de Estadística, Madrid. Disponible en http://www.ine.es/inebmenu/mnu_agricultura.htm#1 [Visto en noviembre de 2007].

INE. (2006): Estadísticas sobre medio ambiente. Instituto Nacional de Estadística, Madrid. Disponible en http://www.ine.es/inebmenu/mnu_medioambiente.htm [Visto en noviembre de 2007].

Isidoro, D., Quílez, D. and Aragüés, R. (2004): Water balance and irrigation performance analysis: La Violada irrigation district Spain) as a case study. *Agric. Wat. Manage.* 64(2), 123-142.

Isidoro, D., Quílez, D. and Aragüés, R. (2006a): Environmental impact of irrigation in La Violada District (Spain): I. Salt export patterns. *Journal of Environmental Quality* 35(3), 766-775.

Isidoro, D., Quílez, D. and Aragüés, R. (2006b): Environmental impact of irrigation in La Violada District (Spain): II. Nitrogen fertilization and nitrate export patterns in drainage water. *Journal of Environmental Quality* 35(3), 776-785.

Isidoro, D. and Aragüés, R. (2007): River water quality and irrigated agriculture in the Ebro basin: An overview. *International Journal of Water Resources Development* 23(1), 91-106.

Krinner, W., García, A. and Estrada, F. (1994): Method for estimating efficiency in Spanish irrigation systems. *J. Irrig. and Drain. Engrg.* 120(5), 979-987.

Lecina, S., Playán, E., Isidoro, D., Dechmi, F., Causapé, J. and Faci, J.M. (2005): Irrigation evaluation and simulation at the irrigation district V of Bardenas (Spain). *Agric. Wat. Manage.* 73, 223-245.

Lecina, S. and Playán, E. (2006): A model for the simulation of water flows in irrigation districts: II. Application. *J. Irrig. and Drain. Engrg.* 132(4):322-331.

Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E. y Aragüés, R. (2009): Efecto de la modernización de regadíos sobre la cantidad y la calidad de las aguas: la cuenca del Ebro como caso de estudio. Monografía INIA nº 26. Serie Agrícola. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Ciencia e Innovación, Madrid España, 92 pp.

Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E. and Aragüés, R. (2010): Irrigation modernization in Spain: effects on water quantity and quality. A conceptual approach. *International Journal of Water Resources Development*, 26(2):265-282.

Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E. and Aragüés, R. (2010b): Irrigation Modernization and Water Conservation in Spain: The Case of Riegos del Alto Aragón. *Agric. Wat. Manage.*, 97, 1663-1675.

Luján, J. (1992): Eficiencia del riego. Centro de Estudios y Experimentación de Obra Públicas (CEDEX), Centro de Estudios Hidrográficos, Ministerio de Fomento, Madrid, 108 pp.

MARM. (2001): Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional. Boletín Oficial del Estado 161, 6/7/2001.

MARM (2002): Plan Nacional de Regadíos. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid. Disponible en <http://www.mapa.es/es/desarrollo/pags/pnr/principal.htm> [Visto en Noviembre de 2007].

MARM (2005): Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional. Boletín Oficial del Estado 149, 23/6/2005.

MARM (2006): Plan de Choque de Modernización de Regadíos. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid. Disponible en <http://www.plandechoque-ahorrodeagua.es> [Visto en noviembre de 2007].

MARM (2007). El Agua en la Economía Española: Situación y Perspectivas. Informe Integrado del análisis económico de los usos del agua. Artículo 5 y Anejos II y III de la Directiva Marco del Agua. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 290 pp.

Martínez-Cob, A., Playán, E., Zapata, N., Caverro, J., Medina, E. T. and Puig, M. (2008): Contribution of evapotranspiration reduction during sprinkler irrigation to application efficiency. *J. Irrig. and Drain. Engrg.* 134, 745-756.

Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, J., Fraiture, C. and Kloezen W.H. (1998): Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research Report 20, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 26 pp.

Molden, D. and Sakthivadivel, R. (1999): Water accounting to assess use and productivity of water. *International Journal of Water Resources Development* 15(1/2), 55-71.

OCDE-FAO. 2010. Agricultural Outlook 2010-2019. Highlights. Organisation for Economic Co-operation and Development – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Paris, France. 79 pp.

- Perry, C. J. (1999): The IWMI water resources paradigm - definitions and implications. *Agric. Wat. Manage.* 40(1), 45-50.
- Perry, C. (2007): Efficient irrigation; Inefficient communication; Flawed recommendations. *Irrigation and Drainage* 56 (4), 367-378.
- Perry, C., Steduto, P., Allen, R. G. and Burt, C. M. (2009): Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agric. Water Manage.* 96(11), 1517-1524.
- Playán, E. and 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. and Faci, J.M. (2000): A case study for irrigation modernisation: II. Scenario Analysis. *Agric. Wat. Manage.* 42, 335-354.
- Playán, E., Salvador, R., Faci, J.M., Zapata, N., Martínez-Cob, A., and Sánchez, I. (2005): Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Agric. Wat. Manage.* 76:139-159.
- 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. and Martínez-Cob A. (2007): A database program for enhancing irrigation district management in the Ebro Valley (Spain). *Agric. Wat. Manage.* 87, 187-199.
- Salvador, R., Martinez-Cob, A., Cavero, J. and Playan, E. (2011): Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): Crops and irrigation systems. *Agric. Wat. Manage.* 98(4), 577-587.
- Seckler, D. (1996): The new era of water resources management: from “dry” to “wet” water savings. Research Report 1, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 18 pp.
- Steduto, P., Hsiao, T. C. and Fereres, E. (2007): On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrig. Sci.* 25(3), 189-207.
- Tedeschi, A., Beltran, A. and Aragüés, R. (2001): Irrigation management and hydrosalinity balance in a semi-arid area of the middle Ebro river basin (Spain). *Agric. Wat. Manage.* 49(1), 31-50.
- Unión Europea. (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy. Official Journal L327, 22/12/2000.
- Willardson, L.S., Allen, R.G. and Frederiksen, H.D. (1994): Elimination of irrigation efficiencies. In: 13th Tech. Conf. USCID, USCID (Ed.). Denver, Colorado, USA, 17 pp.
- Zapata, N., Playan, E., Martinez-Cob, A., Sanchez, I., Faci, J. M. and Lecina, S. (2007): From on-farm solid-set sprinkler irrigation design to collective irrigation network design in windy areas. *Agric. Wat. Manage.* 87, 187-199.
- Zapata, N., Playán, E., Skhiri, A., and Burguete, J. (2009): Simulation of a Collective Solid-Set Sprinkler Irrigation Controller for Optimum Water Productivity. *J. Irrig. Drain. and Engrg.* 135(1), 13-24.