



Generar información regional detallada para entender mejor el regadío

Por **I. Chalhaf¹**, **A. Elhaddad²**, **L.A. García³**, **S. Lecina¹**

¹ Unidad de Suelos y Riegos (asociada a la EEAD-CSIC). Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA), Gobierno de Aragón. Zaragoza, España. E-mail: sergio.lecina@cita aragon.es Tfno.: +34 976 713 834.

² Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiental (1372), Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, Estados Unidos.

³ Escuela de Ingeniería y Ciencias Matemáticas, University of Vermont, Burlington, VT 05405, Estados Unidos.

El propósito de este artículo es mostrar las capacidades para la evaluación de regadíos a escala regional de una metodología basada en la combinación de la teledetección y los programas de gestión de comunidades de regantes. Su aplicación en la zona regable de Riegos del Alto Aragón ha determinado que la mayoría de sus comunidades pueden realizar un adecuado aprovechamiento del agua, aunque no siempre lo consiguen. A pesar de ello, la capacidad productiva de aquellas comunidades con infraestructuras más antiguas se encuentra limitada. Una serie de medidas de mejora orientadas a objetivos son propuestas.

1. Generar información para evitar conflictos: teledetección y programas informáticos

En este artículo se presenta una metodología que combina el uso de la teledetección mediante imágenes de satélite, con los datos procedentes de los programas informáticos de gestión de comunidades de regantes. Su objetivo consiste en evaluar el aprovechamiento del agua de riego a escala regional, y conocer las causas principales que influyen en el mismo. Con ello se pretende generar información útil para la toma de decisiones, y para la transparencia de dicho proceso, de manera que se minimicen los conflictos por el uso del agua.

Para mostrar sus capacidades, esta metodología se ha aplicado en la zona regable de Riegos del Alto Aragón (RAA). Al encontrarse en un proceso de modernización de sus comunidades más antiguas, se seleccionaron para su estudio dos años previos al inicio de este proceso: 2004 y 2005. El segundo de estos años se caracterizó por una sequía hidrológica severa, que prácticamente redujo a la mitad la disponibilidad de agua respecto a un año normal. El trabajo se realizó en tres pasos: 1) Caracterización de RAA; 2) Evaluación del uso del agua; 3) Propuesta de mejoras orientadas a objetivos.

2. Riegos del Alto Aragón: una zona regable extensa y heterogénea

RAA se localiza en el valle medio del Ebro. Su transformación en regadío se inició en 1915. La superficie regable durante el estudio era de 124.596 ha, divididas en 53 comunidades de regantes (CCRR) (figura 1). Cuenta con seis embalses de cabecera y una red principal de canales y otra de colectores de drenaje. La calidad del agua es adecuada para el riego.

La precipitación, la evapotranspiración de referencia y el viento presentan un gradiente norte-sur. Las medias anuales según este gradiente oscilan entre 450 y 300 mm, 949 y 1.149 mm, y 1,9 y 2,6 m s⁻¹ (a 2 m de altura), respectivamente. Existen tres tipos principales de suelo, cuya capacidad de retención de agua disponible (CRAD) varía entre 60 y 300 mm. Algunas áreas tienen problemas de salinidad.

Las CCRR cuentan con el programa de gestión Ador. Este programa, que incluye un Sistema de Información Geográfica, contiene los datos de cada comunidad, que a su vez son recopilados en una base de datos central en la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón (CGRAA). Con Ador se deter-

minó que el 73% de RAA se regaba por superficie, y el 27% por aspersión (el goteo ocupaba menos del 1%). Las tres últimas CCRR transformadas de secano a regadío disponían de riego por aspersión a la demanda. En el resto, los agricultores debían solicitar el agua a la comunidad. Los precios del agua oscilaron entre 0,003 y 0,007 € m³ en riego por superficie, y entre 0,005 y 0,024 € m⁻³ en aspersión (incluye coste de energía).

Las parcelas eran generalmente pequeñas, promediando 1,87 ha en las CCRR de superficie y 3,27 ha en las de aspersión. La explotación media tenía un tamaño de 8,51 ha y 12,45 ha, respectivamente. La variabilidad de estos tamaños respecto a la media era muy elevada.

La producción está orientada a cultivos extensivos, principalmente maíz y alfalfa (tabla 1). Los cultivos de verano, más rentables, pero más exigentes en agua, se cultivaron en mayor proporción en aspersión. En total ocuparon un 67% de la superficie regable en 2004, y un 54% en 2005 debido a la sequía. Los cupos de agua en dicho año limitaron su uso a una media de 3.200 m³ ha⁻¹. En 2004, la media fue de 6.191 m³ ha⁻¹.

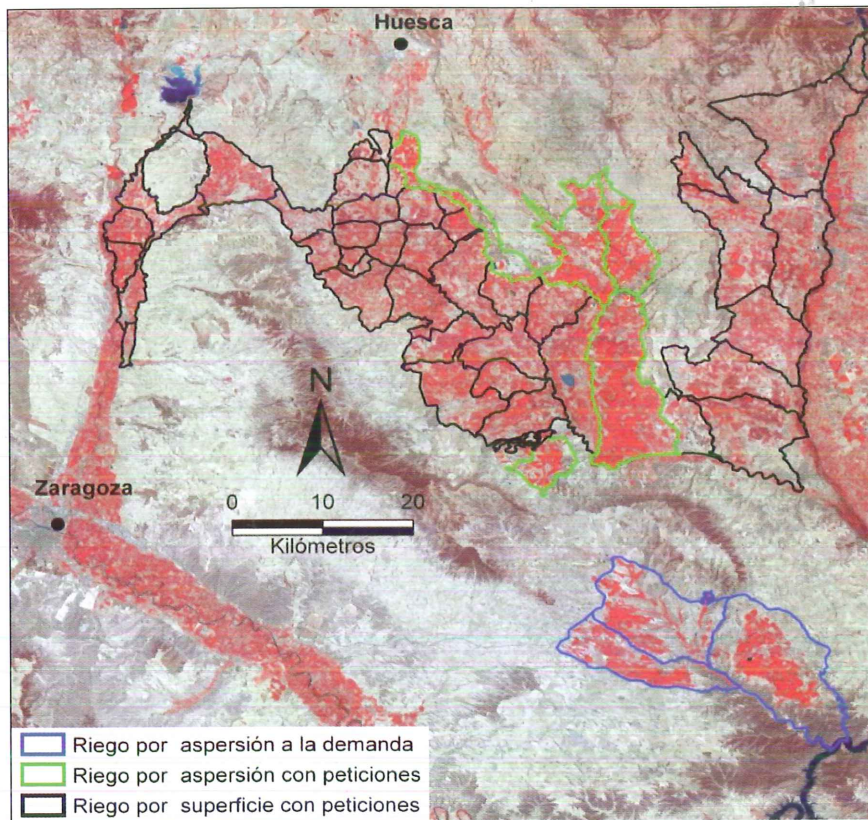


Figura 1. Imagen del satélite Landsat 5 TM (RGB 431), del 11 de agosto de 2004, y delimitación de las CCRR de RAA distinguiéndolas por tipo de riego y distribución de agua. Los diferentes tonos de rojo indican el tipo de cultivo y su vigor. En general, a más cantidad de rojo, más evapotranspiración.

Tabla 1.
Patrones de cultivo por sistema de riego en RAA en 2004 y 2005

	2004			2005		
	Aspersión	Gravedad	Total	Aspersión	Gravedad	Total
Alfalfa	29	31	30	26	30	29
Maíz	45	18	25	31	8	14
Arroz	0	10	7	0	7	5
Cereales invierno	7	18	15	9	14	13
Otros	3	5	5	8	9	8
Sin cultivo	12	19	17	25	32	30
Doble cosecha	4	0	1	2	0	0

3. Evaluación del uso del agua: un aprovechamiento adecuado es posible, una mayor producción no

Cinco indicadores se utilizaron para describir el uso del agua. El suministro relativo de agua (SRA), que relaciona el agua suministrada por riego (desde compuerta de canal) y lluvia con la demanda de agua de los cultivos, o evapotranspiración necesaria para lograr la máxima producción (ETc). Sin embargo, no siempre se consigue satisfacer esta demanda, bien sea porque se aplica menos agua de la necesaria, bien porque se aplica un volumen igual o superior al necesario pero de forma

no uniforme. Cuando esto ocurre, los cultivos están sometidos a estrés hídrico (EH), el cual se estima dividiendo el déficit de evapotranspiración -diferencia entre la ETc y la evapotranspiración real (ETa)- entre la ETc.

Por otra parte, también es importante determinar qué fracción del agua usada acaba en la atmósfera, y qué fracción abandona la zona regable por percolación y escorrentía (PyE). Aunque las pérdidas de agua por PyE no lo son realmente para la cuenca, al poderse reutilizar aguas abajo de RAA, sí que lo son para RAA, dado que no producen beneficio económico en la zona. La fracción consuntiva (FC) cuantifica

la proporción de agua usada cuyo destino es la atmósfera porque es evapotranspirada por los cultivos o se pierde por evaporación y arrastre (PEA) en el riego por aspersión. La fracción complementaria representaría la PyE. Dado que las PEA no pueden determinarse a escala regional, se adoptó un valor medio del 12% sobre el agua usada, de acuerdo a los resultados de estudios previos realizados en la zona.

También se calcularon las productividades del suelo (PS) y del agua (PA). Estos indicadores relacionan el beneficio neto del agricultor respecto a la superficie regable y al volumen de agua de riego usado.

Los resultados obtenidos (tabla 2) indican que el agua se aprovechó más en 2005. Mientras que en 2004 el SRA fue 1,30, en 2005 fue de 0,98, es decir, prácticamente se igualó el suministro de agua a la demanda de los cultivos. Cabría esperar que tal reducción pudiera haber supuesto un mayor EH. Sin embargo, el EH fue parecido en ambos años (0,09), por lo que los rendimientos fueron similares. Como consecuencia del menor SRA, las pérdidas por PyE disminuyeron en 2005, aumentando la FC de 0,72 a 0,95.

La PS disminuyó de 540 a 421 € ha⁻¹ (22%) debido a un patrón de cultivos menos intensivo por la sequía. Sin embargo, la disminución del uso del agua fue proporcionalmente mayor, por lo que la PA aumentó de 0,087 a 0,132 € m³ (52%). Los precios y costes fueron prácticamente constantes en ambos años. Las productividades en aspersión fueron mayores debido a un menor EH y a una mayor proporción de cultivos de verano. Estas productividades pueden parecer bajas, pero debe considerarse que se trata de materias primas agrarias que, tras su transformación, incrementan su valor antes de llegar al consumidor final.

Para evaluar estos resultados deben establecerse valores de referencia para los indicadores. Su determinación requeriría un periodo de estudio más prolongado. Sin embargo, se han estimado las siguientes referencias para mostrar las capacidades de este tipo de análisis. Para el SRA se tomó un nivel de 1,15. Este valor limita las pérdidas de agua, proporcionando holgura para la gestión y las necesidades de lavado de suelos con cierta salinidad. La referencia para el EH se fijó en 0,05. Este umbral considera los precios del agua y los cultivos, de acuerdo a estudios económicos previos orientados a optimizar el beneficio. Las referencias del resto de indicadores se deducen de estas para el mismo patrón de cultivos.

Si el uso de agua se hubiese ajustado al umbral de SRA en 2004, se habrían conservado en los embalses 104 hm³ de agua (13% del uso total). Volumen que podría haberse aprovechado en 2005, reportando un beneficio neto de 13,6 M€. Este valor equivale al 91% de la pérdida de beneficio neto que produjo la sequía en 2005 respecto a 2004. La pérdida de agua por PyE

supone por tanto un coste de oportunidad para RAA.

Estos resultados sugieren que los agricultores, al no tener restricciones de agua, tratan de asegurar el máximo rendimiento de los cultivos, incurriendo en un uso excesivo de agua. Esto indicaría que las decisiones de riego se toman en un contexto de incertidumbre (por insuficiente información y/o conocimiento). En este contexto, la seguridad es contraria a la eficiencia.

El EH fue mayor al de referencia en ambos años. Sin embargo, solo fue sensiblemente mayor en riego por superficie. Su impacto económico fue relativamente reducido (3,3 M€, 5% sobre el beneficio neto en 2004) respecto al que supondría equiparar la intensidad del patrón de cultivos del riego por superficie al de aspersión (10,5 M€, 16%). Estas diferencias persistentes en productividad entre ambos sistemas de riego manifiestan problemas estructurales relacionados con la antigüedad e idoneidad de las infraestructuras de riego por superficie.

Las diferencias entre los valores de los indicadores y sus referencias pueden parecer pequeñas para el conjunto

Tabla 2.
VARIABLES e indicadores de uso de agua por sistema de riego en RAA en 2004 y 2005 (de abril a septiembre)

	2004			2005		
	Aspersión	Gravedad	Total	Aspersión	Gravedad	Total
Uso de agua de riego, m ³ ha ⁻¹	6.485	6.084	6.191	3.653	3.035	3.200
Lluvia, m ³ ha ⁻¹	1.134	1.056	1.077	1.533	1.465	1.483
Evapotranspiración real, m ³ ha ⁻¹	5.742	4.745	5.010	5.037	4.098	4.348
Evapotr. para máx. ¹ rendimiento., m ³ ha ⁻¹	6.082	5.421	5.597	5.362	4.540	4.759
Suministro relativo de agua (SRA), m ³ m ⁻³	1,25	1,32	1,30	0,97	0,99	0,98
Estrés hídrico (EH), m ³ m ⁻³	0,06	0,12	0,10	0,06	0,10	0,09
Fracción consuntiva (FC), m ³ m ⁻³	0,86	0,66	0,72	1,06	0,91	0,95
Productividad del suelo (PS), € ha ⁻¹	624	509	540	502	391	421
Productividad del agua (PA), € m ⁻³	0,096	0,084	0,087	0,138	0,129	0,132

de RAA. Sin embargo, la variabilidad entre CCRR hace que estas diferencias sean apreciables en determinados casos. El análisis por CCRR permite identificar a aquellas que presentaron un mayor potencial de mejora, al tiempo que facilita la comprensión de las causas de estas diferencias. De este análisis se excluyeron las 12 comunidades de menos de 1.000 ha (5% de la superficie total), al ser demasiado pequeñas para este tipo de análisis. La figura 2 muestra los valores de SRA y EH por

comunidad, y su posición relativa respecto a los valores de referencia. De igual modo, en la figura 3 se observan los resultados para la PS y la PA. Dos grupos principales de CCRR con riego por superficie pueden distinguirse. El primero se corresponde con las cinco que presentaron un SRA y un EH superiores a los de referencia en ambos años. Esta reiteración revela problemas estructurales que limitan un uso adecuado del agua. Los tamaños de parcela y explotación fueron similares a la

media, y aunque la CRAD de sus suelos es baja, es similar a otras CCRR con un mejor aprovechamiento del agua. La proporción de cultivos de verano en estas CCRR se situó en la media en 2004, pero en 2005 fue menor (44%), por lo que sus productividades fueron inferiores a los valores de referencia.

Un segundo grupo se corresponde con aquellas CCRR que presentaron suministros de agua similares o inferiores a la demanda de los cultivos (SRA menores de 1,0). A pesar de ello, su EH se

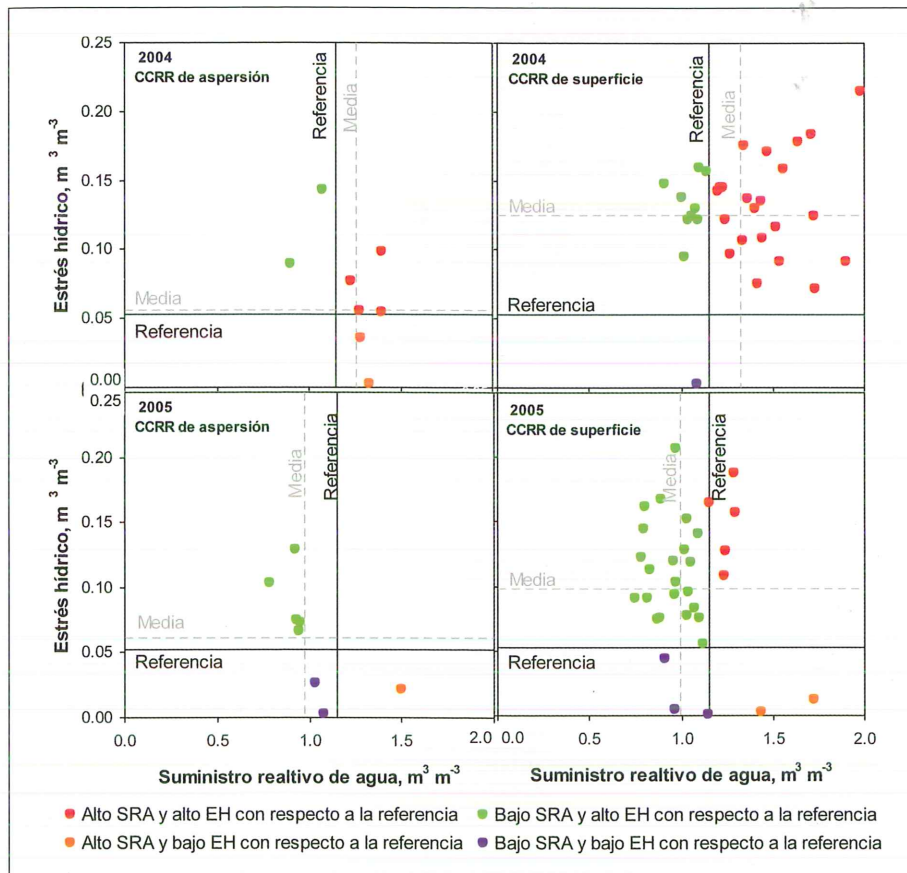


Figura 2. Suministro relativo de agua y estrés hídrico por comunidad y sistema de riego en 2004 y 2005 en RAA.

situó en torno a la media. Dichas CCRR presentaron un consumo de agua (ETA más PEA) superior al usado (agua de canal y de lluvia) (FC mayor de 1,0) en 2005. Este hecho indica que se utilizaron fuentes de agua alternativas al canal y la lluvia. Ante la ausencia de acuíferos explotables, dicha fuente alternativa de agua fue la red de colectores que recoge los retornos de riego (PyE) (Figura 4). De hecho, este reuso de agua les permitió cultivar una proporción de cultivos de verano (58%) superior a la media en 2005. Así, las productividades de estas CCRR fueron similares o superiores a los valores de referencia, a pesar de que las características de algunas de ellas eran parecidas a las del grupo anterior.

Las CCRR de aspersión presentaron valores dispersos de SRA y EH en 2004, siendo superiores a los umbrales en cuatro de ellas. Sin embargo, ninguna comunidad superó las referencias en ambos indicadores en 2005. Así mismo, y al menos durante 2005, siete comunidades también utilizaron fuentes alternativas de agua según su SRA y FC. Dada la disponibilidad de balsas, las CCRR de aspersión también pueden aprovechar las pérdidas operacionales de los canales, que la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) estimó en un 16% en 2004, y en un 24% en 2005. Aquellas CCRR que pudieron realizar un mayor aprovecha-

miento de fuentes alternativas de agua, presentaron una mayor intensidad de cultivo y unas productividades superiores. Factores como el precio del agua o la distribución de agua a la demanda no influyeron en estos resultados. La mejora en el SRA en 2005 en estas CCRR y en las del segundo grupo de CCRR con riego por superficie fue debida por tanto a una mejor gestión, y un mayor reuso del agua. Sin embargo, a la escala de este estudio no se pudo determinar la influencia de cada factor por separado.

4. Propuestas de mejora: aumentar la capacidad de gestión y modernizar el regadío

Los resultados obtenidos indican que se puede lograr un alto nivel de aprovechamiento del agua en las condiciones que presentaban las CCRR durante el periodo de estudio. Para alcanzarlo de forma continuada sería necesario reducir la incertidumbre en la toma de decisiones de riego. Incrementar la capacidad de gestión, aumentando la formación de agricultores y responsables de CCRR sería útil en este sentido. La monitorización de caudales en la red de colectores y en la de canales principales también contribuiría a este propósito, al aumentar la capacidad de reuso del agua. La gestión conjunta de los canales principa-

les (realizada por la CHE) y de la balsas de las CCRR (realizada por sus gestores) sería asimismo importante. Por último, se debería realizar un estudio local para identificar y superar las limitaciones específicas de las cinco comunidades que no alcanzaron los niveles de referencia durante los dos años del estudio.

Con el fin de incentivar este proceso de mejora de la gestión, sería necesario el establecimiento de procedimientos para recuperar o evitar los costes de oportunidad generados como consecuencia de un SRA superior al de referencia. La aplicación de penalizaciones económicas equivalentes a tales costes sobre los volúmenes de agua usados en exceso por las CCRR podría ser una opción. Alternativamente, la asignación de cupos de agua a cada comunidad, en función de su patrón de cultivos y el SRA de referencia, sería otra posibilidad. En este último caso, el patrón de cultivos debería determinarse al inicio de cada campaña. Estas medidas deberían llevarse a cabo por la CGRAA, pues los costes de oportunidad recaen únicamente en RAA, ya que otros usuarios situados aguas debajo de esta zona regable pueden aprovechar sus pérdidas por PyE.

Incrementar la producción requeriría, adicionalmente, una actuación sobre las infraestructuras. La moderniza-

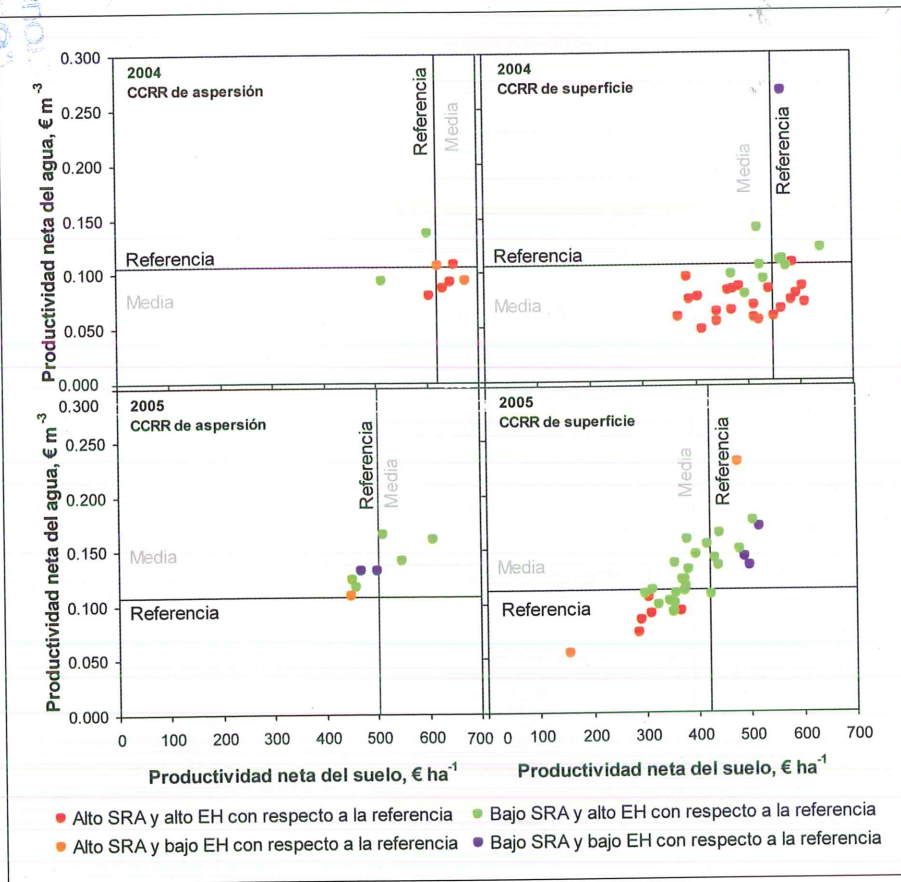


Figura 3. Productividades netas del suelo y del agua usada por comunidad y sistema de riego en 2004 y 2005 en RAA.

ción del regadío, especialmente en aquellas zonas con suelos poco adecuados al riego por superficie, resultaría imprescindible si económicamente resulta viable. Actualmente, el 58% de la superficie regada por gravedad ha realizado o está realizando el proceso de modernización.

La interpretación de todos estos resultados debe tener en cuenta el corto periodo de estudio. Un seguimiento continuado sería necesario para obtener resultados concluyentes. El bajo coste de esta metodología en comparación con sus posibles beneficios, haría viable su aplicación continuada. Este coste puede ser muy variable en función del área de estudio, pero en ningún caso sobrepasaría 0,50 € ha⁻¹ al año. Coste que podría ser repartido entre los diferentes beneficiarios de la información generada, como CCRR y confederaciones. A su vez, incrementaría los retornos de las inversiones realizadas en los programas de gestión de las CCRR, al aumentar el valor añadido de sus datos.

Agradecimientos

Se agradece la contribución a este trabajo de A. Martínez-Cob (EEAD-CSIC), y M.A. Casterad, C. Portero y R. Gómez (CITA). También se agradece la colaboración de la CGRAA, la CHE, MercoLleida y el USGS. Este trabajo ha sido financiado por la Fundación ARAID, IberCaja y el INIA.



Figura 4. Aprovechamiento improvisado de los retornos de riego en un colector principal de RAA durante la sequía.