

# Evaluación de los riegos de la Comunidad de Regantes V del Canal de Bardenas

Lecina Brau, S.<sup>1</sup> (P), Isidoro Ramírez, D.<sup>2</sup>, Dechmi, F.<sup>1</sup>, Causapé Valenzuela, J.<sup>2</sup>,  
Playán Jubillar, E.<sup>1</sup>, Faci González, J.M.<sup>2</sup>, Laplaza de Marco, J.M.<sup>3</sup>

## Resumen

En este artículo se presentan los resultados de las evaluaciones de riego que se han llevado a cabo dentro de la segunda fase del trabajo denominado “Mejora de la Gestión Integral del Agua de Riego en la Comunidad de Regantes V del Canal de Bardenas”. El 80 % de la superficie de esta comunidad está ocupado por suelos de plataformas residuales, mientras que el resto son suelos de aluvial. Para caracterizar la capacidad de retención de agua de los suelos (CRA) se realizó un muestro en el que se describieron 50 perfiles. Para determinar la infiltración de los suelos y los índices de calidad del riego por superficie se realizaron 50 evaluaciones de riego. Un adecuado manejo del agua a nivel de parcela y unas texturas francas-franco arenosas permiten alcanzar niveles de eficiencia medios en las parcelas de las plataformas (53 % de media), cuyos suelos se caracterizan por una baja CRA (60 mm de media). En aluviales la eficiencia llega hasta un 80 % de media, gracias a las elevadas capacidades de retención de agua de estos suelos (182 mm de media). Actualmente se está realizando un reaprovechamiento de las aguas de desagüe que posiblemente provoque que la eficiencia a nivel de comunidad sea mayor que la obtenida a nivel de parcela. Estos resultados permiten pensar que la modernización de los regadíos, mediante el cambio a un sistema de riego presurizado, tendría un fuerte impacto sobre la eficiencia en parcela, aunque el impacto sobre la eficiencia en la comunidad sería menor. La modernización tendría resultados muy beneficiosos social y económicamente para los agricultores, además de mejorar la calidad de las aguas de los ríos que atraviesan la comunidad.

## Abstract

Results of the irrigation evaluations performed in the second phase of the project “Improvement of the Water Irrigation Integral Management in the Comunidad de Regantes V del Canal de Bardenas” are presented in this paper. An 80 % of the area of the Irrigation District is occupied by soils of residual platforms, and the rest of the soils are alluvial. A soil

<sup>1</sup> Estación Experimental de Aula Dei, CSIC. Apdo. 202. 50080 Zaragoza (España). [lecina@eead.csic.es](mailto:lecina@eead.csic.es)

<sup>2</sup> Servicio de Investigación Agraria, DGA. Apdo. 727. 50080 Zaragoza (España).

<sup>3</sup> L'2 y asociados ingeniería. C/ Aragón 7. Ejea de los Caballeros, Zaragoza (España).

survey was performed for characterising the water holding capacity (WHC) of the soils, using 50 soil profiles. A total of 50 irrigation evaluations was performed for determining soil infiltration and the performance indexes of surface irrigation in the study area. An adequate water management in border irrigation and loam-sandy loam textures permit to attain 53 % application efficiency in platforms, whose soils are characterized by a low WHC (with an average of 60 mm). In alluvial soils the application efficiency is higher, with an average of 80 %, due to the high water holding capacity of these soils (an average of 182 mm). Currently, The district is enforcing a program for irrigation return flows reuse. This program surely results in an irrigation district efficiency substantially higher than the average application efficiency. With these results it is possible to think that an irrigation modernization, through a change to a pressurized irrigation system will severely improve the application efficiency, but the effect on the irrigation district efficiency will only be moderate. However, this modernisation would have great social and economical benefits for farmers, and also, the water quality of rivers crossing the irrigation district will be improved.

## **1. Introducción**

La modernización de los regadíos es indispensable para asegurar la sostenibilidad de la agricultura de regadío en España (Faci *et al.*, 2000). Los estudios del uso del agua son el primer paso en este camino, al servir para diagnosticar los problemas concretos que afectan al manejo de los recursos hídricos en el ámbito de la agricultura (Losada, 1994). A veces, estos problemas no son evidentes, por lo que la correcta realización de dichos estudios se hace imprescindible para poder proyectar posteriormente las soluciones óptimas (Lecina *et al.*, 2000, Playán *et al.* 2000).

Las Comunidades de Regantes, al constituir la unidad básica de gestión del agua dentro de las cuencas, son el primer nivel donde comenzar estos estudios. Su objetivo es la determinación de las directrices que debe seguir un plan de modernización en una zona regable concreta, de forma que los proyectos que se redacten posteriormente se basen en dichas directrices.

En esta comunicación se presentan los resultados de las evaluaciones de riego que se han llevado a cabo dentro de la segunda fase del trabajo denominado “Mejora de la Gestión Integral del Agua de Riego en la Comunidad de Regantes V del Canal de Bardenas”. Dicho trabajo, promovido por la propia Comunidad de Regantes, pretende ser un instrumento para la mejora de la gestión del agua en la Comunidad. En la segunda fase del mismo participan la Estación Experimental de Aula Dei (CSIC), y la Unidad de Suelos y Riegos del SIA

(Diputación General de Aragón) a través del proyecto de investigación "Ador", financiado por el Plan Nacional de I+D y los fondos FEDER de la UE. Dentro de este proyecto se está elaborando software para la gestión y la simulación de los flujos de agua en comunidades de regantes, de cara a mejorar el uso de los recursos hídricos que gestionan.

## **2. Estudio del medio**

La Comunidad de Regantes V se encuentra situada en la comarca de las Cinco Villas, al norte de la provincia de Zaragoza. Pertenece a la Comunidad General de Regantes del Canal de Bardenas, dentro de la zona regable denominada Bardenas I. La puesta en riego se inició en el año 1959, tras la construcción del Embalse de Yesa (que regula las aguas de cabecera del Río Aragón) y del Canal de Bardenas (Bolea, 1978). La Comunidad V cuenta con un total de 17.658 ha, de las que 15.498 son de regadío.

El sistema de distribución de agua es por gravedad, mediante una red de acequias, que partiendo del Canal de Bardenas, distribuyen el agua por turnos durante 24 h al día a lo largo de más de un centenar de acequias secundarias repartidas en 11 sectores. El sistema de riego es por superficie, existiendo actualmente 450 ha que se han transformado a riego por aspersión.

La red de desagües permite la evacuación de las aguas de escorrentía superficial y de percolación, realizando el drenaje de toda la zona hacia los ríos Riguel, que divide la comunidad en dos mitades en dirección norte-sur, y Arba de Luesia, que hace de límite por el este. Actualmente existen diferentes conexiones entre la red de desagüe y la red de riego con el fin de reaprovechar las aguas de escorrentía y percolación.

La Comunidad se encuentra muy parcelada, predominando un tamaño de explotación menor de 20 ha, encontrándose los lotes de tierra repartidos en varios sectores de riego. Los cultivos que predominan son los extensivos, con el maíz y la alfalfa a la cabeza, aunque también existen cultivos de hortalizas, fundamentalmente tomate y pimiento, que llegan a ocupar hasta un 10 % de la superficie regable.

Según los datos de la Estación Meteorológica de Santa Anastasia para el período 1965-1994, la zona tiene un clima templado (temperatura media de 14,0 °C), con inviernos moderados, y un período seco que comprende los meses de julio, agosto y septiembre. La precipitación media anual es de 419 mm, y la evapotranspiración de referencia media, calculada según la metodología de Hargreaves (Jensen *et al.*, 1991), es de 1.084 mm.

El estudio previo de la geomorfología y de los suelos de la zona se ha realizado a través de la revisión de trabajos realizados con anterioridad. Así, a partir del mapa geomorfológico de Basso (1994), y de la información de los suelos proporcionada por el Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario (1974) y Martínez Beltrán (1978), se han sintetizado los suelos de la zona en dos grandes grupos. Un grupo correspondería a suelos de plataformas residuales (“sasos”, en terminología local), que se caracterizan por su poca profundidad, la presencia de costra calcárea y elevados contenidos en gravas, con texturas francas y buenas condiciones de drenaje, por lo que los niveles de salinidad son bajos. El otro grupo está formado por los suelos de los fondos aluviales, los cuales presentan una profundidad superior a un metro, con texturas franco arenosas y franco arcillosas, con escasa pedregosidad, apareciendo algún problema de salinidad y sodicidad en la parte más baja del valle. La superficie que ocupan cada uno de estos dos grupos de suelos en la comunidad es del 80 y el 20 % respectivamente.

### **3. Material y métodos**

Para la evaluación del riego de una determinada zona es necesario determinar aquellas propiedades físicas de los suelos que influyen sobre la dinámica del agua en la zona ocupada por las raíces. En esta dinámica intervienen la capacidad de infiltración y la capacidad de retención de agua del suelo. Para determinar tales propiedades es necesario realizar un estudio de suelos en el que se incluya el muestreo de los mismos y la estimación de su infiltración a través de evaluaciones de riego.

El planteamiento del muestreo de suelos se realizó en función de los datos previos de Martínez Beltrán (1978) y Basso (1994). Así, se describieron 50 perfiles, 40 en plataformas y 10 en aluviales, para caracterizar la capacidad de retención de agua de los suelos de la comunidad. En las plataformas la descripción se realizó mediante la ejecución de calicatas con excavadora hidráulica de retroceso de 120 CV de potencia y anchura de cazo de 0,60 m. En los aluviales se utilizó una barrena simple para realizar la descripción.

El estudio de los perfiles se realizó hasta una profundidad de 120 cm o hasta encontrar una capa limitante, obteniendo muestras de cada uno de los horizontes encontrados. A partir de dichas muestras se determinó en laboratorio la pedregosidad, la densidad aparente, y los puntos característicos de humedad según el *Soil Survey Laboratory* (1996). Con dichos datos, y junto con la profundidad de los horizontes, se obtuvo la capacidad de retención de agua para cada perfil de suelo estudiado.

Para determinar la fiabilidad de los resultados obtenidos en laboratorio de los puntos característicos de humedad, se determinó la humedad gravimétrica de 12 muestras adicionales de suelo que se obtuvieron antes del riego y tras 48 h del mismo.

La realización de las evaluaciones de riego para caracterizar la infiltración de los suelos y los índices de calidad del riego siguió las mismas pautas planteadas para el muestreo de suelos. Así, se realizaron 50 evaluaciones siguiendo la metodología propuesta por Merriam y Keller (1978), de las que 38 se llevaron a cabo sobre suelos de plataformas. Para tener en cuenta la presencia de cultivos hortícolas en surcos, cinco de dichas evaluaciones se realizaron sobre parcelas de pimiento y tomate.

La elección de las parcelas a evaluar se realizó en función de su geometría y su nivelación. Así, se seleccionaron tablares rectangulares, con entrada de agua centrada en uno de los lados, y nivelados mediante láser. Durante las evaluaciones el agricultor realizó sus prácticas habituales de riego.

La medida de las dimensiones de los tablares se realizó mediante rueda métrica. La pendiente y la desviación estándar de la elevación se determinaron realizando mediciones sobre el eje longitudinal del tablar cada 10-30 m (según la longitud de éste) con un nivel topográfico. La obtención de estos dos parámetros se realizó mediante regresión simple de los puntos determinados en tal medición.

El caudal de entrada de agua al tablar se midió mediante un minimolinete hidráulico, controlándose el tiempo de riego. Asimismo, se midió la fase de avance a través de la toma de tiempos de llegada del agua a las estacas de referencia dispuestas a lo largo del tablar cada 10-30 m.

Poco antes de finalizar el riego se efectuaron medidas de calado de agua cada 3-4 m a lo largo de una línea perpendicular al flujo del agua a la altura de la primera estaca de referencia colocada en el tablar. Se considera que el calado del flujo en este punto y tiempo es igual a la media de las medidas realizadas.

En aquellos tablares en los que las condiciones del desagüe lo permitieron se realizó la medida de la esorrentía del agua de riego. Para tal determinación se utilizó según los casos el minimolinete o un flotador, de tal manera que mediante medidas discretas del caudal se estableció un hidrograma a partir del cual se obtuvo el volumen de esorrentía.

Los parámetros de infiltración y de rugosidad se obtuvieron mediante el uso de un modelo hidrodinámico unidimensional de simulación de riego por superficie (Walker, 1993). Dicho modelo se ejecutó con los datos de cada evaluación recogidos en campo, utilizando como parámetros  $k$  y  $a$  de la función de infiltración de Kostiakov, y  $n$  de rugosidad de Manning, valores tentativos. De esta manera, y mediante la ejecución iterativa del modelo se fueron ajustando tales parámetros hasta que los resultados de avance y calado de la simulación se aproximaron a los valores medidos en campo.

Una vez determinados estos parámetros de infiltración y rugosidad se obtuvieron los índices de calidad de riego para cada una de las evaluaciones (Burt *et al.* 1997), considerando los datos de capacidad de retención de agua obtenidos en el muestreo de suelos. Para este fin se utilizó un modelo hidrodinámico unidimensional (Lecina *et al.*, 2001). En estos cálculos se ajustó el caudal de escorrentía proporcionado por el modelo en función de los resultados de las mediciones que de este caudal se realizaron en campo.

#### **4. Resultados y discusión**

En la Tabla 1 se presentan los resultados del muestreo de los suelos de la comunidad. La fracción de elementos gruesos es muy variable en las plataformas (un 22 % de media y un coeficiente de variación -CV- del 64 %) y nula en los aluviales. Los valores de los puntos característicos de humedad del suelo indican la existencia de texturas francas a franco arenosas en las plataformas (capacidad de campo -CC- media del 27 % y punto de marchitez -PM- medio del 18 % en el horizonte superficial), y franco arcillosas en aluviales (CC media del 38 % y PM medio del 22 % en el horizonte superficial). En cuanto a la densidad aparente, los valores medios se situaron en  $1,52 \text{ t m}^{-3}$  en plataformas y  $1,40 \text{ t m}^{-3}$  en aluviales, aunque dada la dificultad de realizar esta prueba en terrenos pedregosos el número de muestras válidas fue muy inferior al del resto de determinaciones (una medida en plataformas y seis en aluviales).

La capacidad de retención de agua (CRA) de los suelos de la comunidad oscila de media entre los 60 mm de las plataformas a los 182 mm de los aluviales, correspondiéndose estos valores con profundidades efectivas medias del suelo de 87 cm y 120 cm respectivamente. El rango de variación de esta propiedad es muy diferente según el tipo de suelo: bajo en los aluviales (CV del 18 %) y muy alto en las plataformas (CV del 54 %), como consecuencia de la elevada variabilidad espacial de su profundidad provocada por la existencia ocasional de un horizonte petrocálcico (“mallacán” en terminología local). En efecto, en aquellos perfiles

en los que se encontró este tipo de capa limitante, a una profundidad media de 37 cm, la capacidad de retención de agua media encontrada fue de tan sólo 24 mm (con un mínimo de 15 mm). Por el contrario, si no existía petrocálcico, o éste era de escasa consistencia, la CRA alcanzó los 84 mm (con un valor máximo de 156 mm).

**Tabla 1.** Resultados medios de los perfiles estudiados en el muestreo de suelos.

		Aluviales	Plataformas
Profundidad efectiva, cm	media	120	87
	mín.-máx.	>120	26-165
	nº muestras	10	40
CRA matriz ponderada, %	media	15	8
	mín.-máx.	11-21	4-16
	nº muestras	10	40
Elementos gruesos ponderados, %v	media	0	22
	mín.-máx.	0	4-53
	nº muestras	10	40
CRA, mm	media	182	60
	mín.-máx.	137-250	15-156
	nº muestras	10	40

CRA capacidad de retención de agua

En la Tabla 2 se exponen los resultados agregados de las evaluaciones de riego, diferenciándose en tres grupos: las realizadas en suelos aluviales, en suelos de plataformas, y sobre cultivos en surcos (en este caso todas fueron en plataformas). Los cultivos existentes en las parcelas evaluadas fueron alfalfa, maíz y girasol, en el caso de tablares, y tomate y pimiento en el caso de surcos. Para obtener los estadísticos de los parámetros de la función de infiltración y de rugosidad, así como para determinar los índices de calidad del riego, tan sólo se consideraron aquellas evaluaciones en las que no se produjeron incidencias, y las condiciones iniciales de humedad del suelo se consideraron normales.

La infiltración de los suelos de plataformas fue superior a la de los aluviales, como puede observarse en la Figura 1.

La rugosidad, representada por el valor de la  $n$  de Manning, osciló entre 0,11 y 0,31 en alfalfa, 0,08 y 0,18 en maíz y girasol, y 0,05 y 0,07 en pimiento y tomate en surcos. Estas variaciones se debieron a las diferentes alturas de los cultivos cuando se realizaron las

evaluaciones, además de a la presencia de diferentes proporciones de pedregosidad en superficie en función del tipo de suelo.

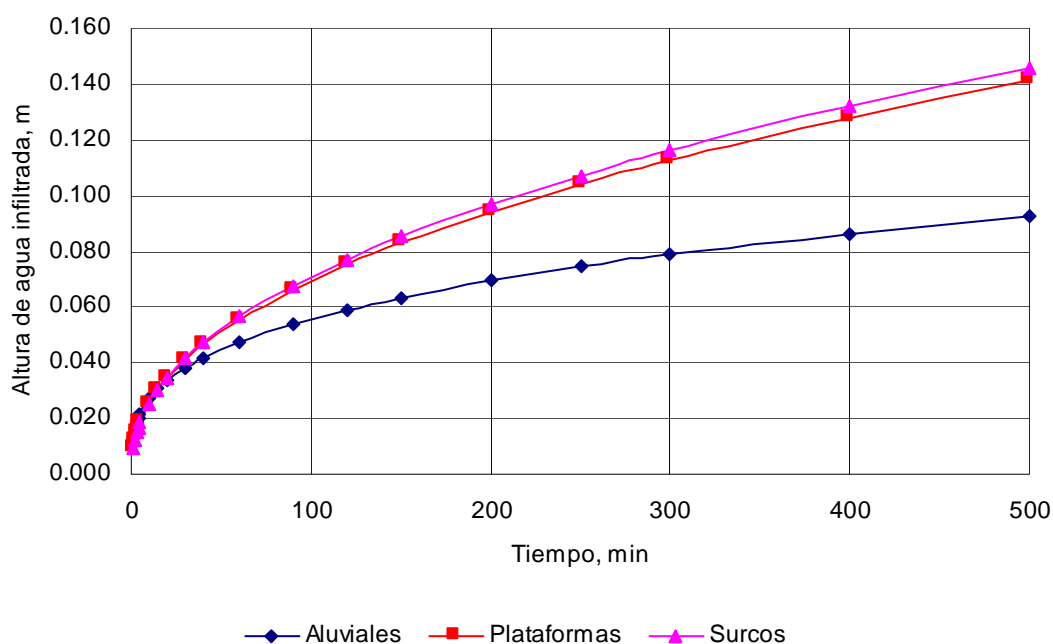
**Tabla 2.** Resultados medios de las evaluaciones de riego.

		Aluviales	Plataformas	Surcos
Superficie, m <sup>2</sup>	media	8.900	10.733	10.089
	CV, %	47,69	31,83	3,76
	nº evaluac.	11	33	5
Pendiente, ‰	Media	0,88	1,94	1,32
	CV, %	82,10	88,91	31,72
	nº evaluac.	11	31	5
DEE, cm	Media	1,77	1,47	1,06
	CV, %	60,69	46,75	24,31
	nº evaluac.	11	33	5
Caudal, L s <sup>-1</sup>	Media	103	136	108
	CV, %	35,13	40,29	24,46
	nº evaluac.	11	33	5
Tiempo de riego, h ha <sup>-1</sup>	Media	2,99	2,87	3,17
	CV, %	27,51	40,62	30,52
	nº evaluac.	11	33	5
Dosis de riego, mm	Media	106	128	139
	CV, %	35,27	32,21	35,81
	nº evaluac.	11	33	5
n, -	Media	0,29	0,19	0,06
	CV, %	36,40	29,98	16,64
	nº evaluac.	6	17	3
k, m min <sup>-a</sup>	Media	0,0148	0,0095	0,0090
	CV, %	49,58	27,75	10,10
	nº evaluac.	6	17	3
a, -	Media	0,31	0,44	0,45
	CV, %	17,15	10,36	13,70
	nº evaluac.	6	17	3
Eficiencia de riego, %	Media	79,56	52,76	34,67
	CV, %	8,52	16,58	15,19
	nº evaluac.	6	17	3
Uniformidad de distribución, %	Media	76,94	84,69	85,70
	CV, %	12,28	10,50	2,59
	nº evaluac.	6	17	3

*k* coeficiente de la función de infiltración de Kostiakov  
*a* coeficiente de la función de infiltración de Kostiakov

*n* coeficiente de rugosidad de Manning





**Figura 1.** Funciones de infiltración medias en aluviales, plataformas y surcos.

El tamaño de los tablares se sitúa en torno a una hectárea, presentando una variabilidad moderada, y siendo ligeramente mayor en plataformas que en aluviales. La pendiente es un parámetro con un amplio rango de variación. De media, es superior en plataformas ( $1,94 \text{ ‰}$  frente al  $0,88 \text{ ‰}$  en aluviales), diferenciándose los surcos, que presentan un pendiente intermedia ( $1,32 \text{ ‰}$ ). De esta forma los agricultores tienen en cuenta las características de infiltración de los suelos, al dotar de mayor pendiente a aquellos tablares con suelos que infiltran más rápidamente el agua. En el caso de los surcos en plataformas, los agricultores actúan considerando la necesidad de humectar adecuadamente los caballones, lo cual requiere un flujo de agua más lento. La calidad de la nivelación indicó el uso frecuente del láser en la nivelación, al oscilar la desviación estándar de la elevación entre uno y cuatro centímetros.

Los caudales utilizados en el riego presentan una gran variabilidad en función de las condiciones de las acequias, aunque de media son superiores a  $100 \text{ L s}^{-1}$ . Dichos caudales son más elevados en tablares de plataformas ( $138 \text{ L s}^{-1}$ ), que en surcos y en aluviales ( $108$  y  $103 \text{ L s}^{-1}$  respectivamente). La necesidad de conseguir un flujo de agua más rápido en suelos con mayor capacidad de infiltración explica este hecho. En surcos, los agricultores utilizan menores caudales cuando las plantas están ya desarrolladas, para evitar así que el agua llegue hasta la parte aérea de la planta y al fruto.

Los tiempos de riego, aunque también variables en función de los caudales utilizados, se sitúan de media en torno a tres horas por hectárea tanto en plataformas como en aluviales. Esta similitud en los dos tipos de suelo es indicativa de la influencia que sobre el riego tiene el manejo del agua por parte de los agricultores. En efecto, mediante la aplicación de caudales más elevados y la nivelación con mayores pendientes éstos consiguen que el riego en suelos con elevada tasa de infiltración no se prolongue en demasía, lo cual provocaría mayores pérdidas de agua y turnos de riego más largos. Por el contrario, en surcos el tiempo de riego es ligeramente superior ( $3,2 \text{ h ha}^{-1}$  de media), estando motivado por los menores caudales utilizados y la necesidades de humectar generosamente los caballones.

Con estos valores de caudal y tiempo de riego se consiguen aplicar dosis moderadas, siendo de media de 117 mm en aluvial, 120 mm en plataformas y 143 mm en el caso de surcos.

Para la determinación de los índices de calidad de riego se consideraron las medias de las capacidades de retención de agua requerida para cada tipo de suelo. La gran variabilidad espacial de la CRA en las plataformas impidió la delimitación de zonas con valores de retención homogéneos.

La profundidad de agua requerida se determinó según las indicaciones de Merriam y Keller (1978). En el caso de los aluviales, se consideró dicha profundidad igual a dos tercios de la capacidad de retención de agua, mientras que en las plataformas se tomó la CRA completa más cinco milímetros. Para tomar esta decisión se consideraron los valores de la propia CRA en relación a los turnos de riego, cuya duración media es de 12 días. Así, mientras que en aluviales el agua disponible es superior a la evapotranspiración de los cultivos en dicho intervalo de riego, en los sotos no ocurre lo mismo. En efecto, considerando una evapotranspiración acumulada de 70-80 mm durante el turno de riego, la CRA media en plataformas no llegaría a satisfacer dicha demanda. Los resultados obtenidos de humedad gravimétrica en muestras de suelo tomadas antes y 48 h después del riego confirman este hecho. La humedad que se encontró antes del riego se situó de media en el 90 % de la humedad del punto de marchitez obtenido en laboratorio, mientras que la humedad media tras el riego coincidió con la humedad a capacidad de campo. Esta extracción de agua del suelo por debajo del punto de marchitez también se ha observado en otras experiencias con maíz y girasol (Cabelguenne y Debaeke, 1998), y se realizaría a costa de una cierta disminución de la producción. Asimismo, durante el intervalo de tiempo en el que el suelo pasa de saturación tras el riego a capacidad de campo, que en la práctica común se

considera de una duración de 48 h, la planta está aprovechando agua gravitacional. Para tener en cuenta estos efectos se han añadido 5 mm a la CRA al calcular la dosis objetivo en plataformas.

Sin embargo estas consideraciones no explican que pueda llegar a término un cultivo en los suelos en los que se obtuvieron los valores mínimos de CRA (15 mm). Las razón de que esto suceda puede deberse a una combinación de factores. Así, la existencia de flujos subsuperficiales de agua por encima del horizonte petrocálcico, la disminución de la evaporación del agua del suelo por el sombreado de las piedras, y la disminución de la evapotranspiración al producirse estrés hídrico, pueden ser algunas de las causas que posibiliten el desarrollo de los cultivos.

Así pues, se consideraron unas dosis objetivo uniformes de 120 mm en aluviales y 65 mm en plataformas para calcular la eficiencia de riego a nivel de parcela. Esta eficiencia alcanzó un valor medio del 53 % en plataformas, repartiéndose uniformemente los valores de cada tablar en el intervalo entre el 40 y el 75 %. Estos niveles de eficiencia para los suelos de plataformas podrían haber sido más bajos de no haber sido porque los agricultores realizan un adecuado manejo del agua, y porque la matriz del suelo no es excesivamente arenosa. Por el contrario, los surcos se quedaron en una eficiencia que varió entre el 27 y el 39 % (con una media del 34%), como consecuencia de los menores caudales y pendientes utilizadas, así como de la menor dosis objetivo de agua de este tipo de riego (debido a que el espaciamiento entre surcos es de 0.6 m). En aluviales la eficiencia media fue del 80 %, con un rango de variación entre el 72 y el 89 %, demostrando las adecuadas propiedades que este tipo de suelo tiene para el riego por superficie.

La uniformidad de distribución fue en todos los casos superior al 62 %, situándose la media en las plataformas (tanto en tablares como en surcos) en un 85 %, mientras que en aluviales fue del 77 %.

Para la obtención de estos índices de calidad de riego se calibró en el modelo hidrodinámico unidimensional el caudal de escorrentía. De esta forma se consideró la constricción que supone al flujo de agua el desagüe de final del tablar (consistente generalmente en uno o dos tubos de hormigón de 200-300 mm de diámetro).

En una superficie en torno al 10 % de las plataformas no se han realizado evaluaciones dado que no se encuentra nivelada. Este hecho permite pensar que en dicha zona los

valores de eficiencias y uniformidades son sensiblemente menores a los determinados en el resto de plataformas.

## **5. Conclusiones**

Los suelos de plataformas presentan de media unos niveles de capacidad de retención de agua demasiado bajos como para asegurar un rendimiento óptimo de los cultivos con los actuales sistemas de riego y distribución de agua.

A pesar de ello, una tasa de infiltración moderada y unas texturas francas - franco arenosas, así como un manejo adecuado del agua a nivel de parcela permiten alcanzar unos niveles medios de eficiencia de riego (53 % de media), siempre y cuando los tablares de riego se encuentren nivelados.

Los suelos de aluvial presentan unas propiedades físicas adecuadas para el riego por superficie (eficiencia media del 80 %), aunque por sus texturas franco arcillosas pueden originar problemas de nascencia a los cultivos a causa de la formación de costra.

El reaprovechamiento parcial de las aguas de escorrentía y percolación, a través de las conexiones entre la red de desagües y la de acequias, permite pensar que los niveles de eficiencia a nivel de comunidad sean significativamente superiores a los obtenidos en parcela.

Una modernización del regadío basada principalmente en el cambio a un sistema de riego presurizado conllevaría un acusado incremento de la eficiencia de aplicación en parcela. Sin embargo, esto podría no suponer una acusada mejora de la eficiencia en el uso del agua a nivel de la comunidad. En cualquier caso, mejorarían notablemente las condiciones sociales y económicas de los agricultores, al disminuir la jornada de riego e incrementarse los rendimientos de los cultivos. Asimismo, se conseguiría una mejora en las condiciones medioambientales de los ríos al disminuir las pérdidas de nitratos y sales.

## **Agradecimientos**

Se agradece el apoyo prestado por la Comunidad de Regantes V de Bardenas al poner a nuestra disposición todos sus medios humanos y materiales, y en especial a los guardas de riego. También se agradece la colaboración de todos aquellos agricultores que han permitido la realización en sus propiedades de los trabajos de campo de este estudio. Por

último, agradecer el trabajo realizado por parte de todas aquellas personas que han colaborado en la realización de las evaluaciones de riego.

Este proyecto de investigación ha sido cofinanciado por la CICYT, por Fondos FEDER, por el CONSI+D y por la Comunidad de Regantes V de Bardenas.

## **Bibliografía**

- Basso L.A. 1994. Los retornos salinos del polígono de riego Bardenas I y su contribución a la salinidad de los ríos Arba y Riguel. Tesis Doctoral. Universidad de Zaragoza (Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio). Zaragoza. 224 pp.
- Bolea, J.A. 1978. Los riegos de Aragón. Sindicato de Riegos del Alto Aragón. Huesca. 535 pp.
- Burt, C.M.; Clemmens, A.J.; Strelkoff, T.S.; Solomon, K.H.; Bliesner, R.D.; Hardy, L.A.; Howell, T.A.; Eisenhauer, D.E. 1997. Irrigation Performance Measures: Efficiency and Uniformity. *J. Irrig. and Drain. Engrg. ASCE*. 123 (6): 423-442.
- Cabelguenne, M., Debaeke, P. 1998. Experimental determination and modelling of soil water extraction capacities of crops of maize, sunflower, soya bean, sorghum and wheat. *Plant Soil* 202:175-192.
- 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. Water Manage.* (42): 313-314.
- Instituto de Reforma y Desarrollo Agrario. 1974. Estudio semi-detallado de los suelos afectados por salinidad de la zona regable de las Bardenas (Zaragoza). IRYDA. Madrid (España). 254 pp. + anejos.
- Jensen, M.E.; Burman, R.D.; Allen, R.G. 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice*, nº 70. ASCE. NEW York (USA). 332 pp.
- Lecina, S.; Monserrat, J.; Cots, LI. 2000. El uso del agua en el regadío de Flumen (II). Zona noroccidental de la acequia de Rufas (Huesca). *Riegos y Drenajes XXI* 112(16):54-57.
- Lecina, S., Playán, E., Cavero, J. 2001. Ador: un programa para la simulación de los flujos de agua en comunidades de regantes. XIX Congreso Nacional de Riegos (AERYD). 12-14 de junio. Zaragoza (España).
- Losada, A. 1994. Eficiencia técnica en la utilización del agua de riego. *Revista de estudios agrosociales* 167:131-154.
- Martínez Beltrán J. 1978. Drainage and reclamation of salt-affectation soils. Bardenas Area, Spain. Institut for Land Reclamation and Improvement. Wageningen (Holland). 321 pp

- Merriam, J.L., Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Utah State University, Logan, Utah (USA). 271 pp.
- Playán, E.; Slatni, A.; Castillo, R.; Faci, J.M. 2000. A case study for irrigation modernisation II. Scenario analysis. *Agric. Water Manage.* 42: 335-354.
- Soil Survey Laboratoy. 1996. Methods Manual. The Soil Survey Analytical Continumm. Soil Survey Investigations Report N° 42 Version 3.0. USDA, NRCS, NSSC. USA. 693 pp.
- Walker, W. R. 1993. SIRMOD, Surface irrigation simulation software. Utah State University. Logan, Utah (USA). 27 pp.