

Rev. FCA UNCuyo. Tomo 42. N° 1. Año 2010. 107-124.

Mejora de la gestión del agua de riego mediante el uso de indicadores de riego

Irrigation water management improvement using performance irrigation indicators

José Roldán Cañas
María Díaz Jiménez

Rafael Pérez Arellano
María Fátima Moreno Pérez

Originales: Recepción: 16/02/2009 - Aceptación: 25/09/2009

RESUMEN

La gestión del agua de riego en la zona regable del Genil-Cabra, situada en la provincia de Córdoba, sur de España, se ha estudiado usando tres indicadores de riego: el Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS); el Suministro Relativo de Agua (RWS) y el Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones (RRS). Estos tres indicadores se han calculado tanto de forma global como agrupando los datos según el tipo de cultivo, el método de riego, la textura del suelo y el tamaño de la parcela. Toda la información relativa a variables agronómicas e hidráulicas se ha incluido en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para facilitar su manejo.

Los resultados muestran que los riegos son deficitarios ya que el valor del indicador RIS es relativamente bajo. No obstante, dado que el indicador RWS alcanza valores más altos, la demanda evaporativa puede ser satisfecha a lo largo del ciclo de desarrollo del cultivo. El indicador RRS oscila menos y junto al RWS permite conocer la fracción de evapotranspiración cubierta por el agua de lluvia.

Los valores medios de los indicadores calculados son muy útiles para conocer el comportamiento del regante y la tendencia general, aunque la muestra usada es aún insuficiente para poder caracterizar una gran área de riego en su conjunto.

ABSTRACT

Irrigation water management in the Genil-Cabra irrigation district, located in the province of Cordoba, Southern Spain, was studied using three irrigation performance indicators: relative irrigation supply (RIS); relative water supply (RWS) and relative rainfall supply (RRS). All indicators have been calculated as in a global way as grouping data according to crop type, irrigation method, soil texture, and size irrigation plots. All information of agronomic and hydraulic variables was incorporated in a Geographic Information System (GIS) to ease its management.

Results show that applied irrigations are deficit irrigations because RIS values are relatively low. However, RWS values are greater and evaporative demand may be satisfied along crop development cycle. RRS indicator varies less than the other two and, together with RWS, permits to know the evapotranspiration fraction covered by rain water.

The mean values of performance indicators we have calculated are very useful to know farmer's behaviour and the general trend, although the used sample is not significant to characterize the global irrigation district.

Palabras clave

riego • indicadores de riego • zona regable • gestión del riego • SIG

Keywords

irrigation • irrigation indicators • irrigation district • irrigation management • GIS

INTRODUCCIÓN

El recurso agua está sometido a la presión de una demanda cada vez más exigente en cantidad y calidad, condicionada por aspectos sociales, políticos y ambientales. La creciente dificultad para garantizar la satisfacción de las demandas se traduce, por un lado, en una mayor competencia entre los sectores usuarios tradicionales -agricultura, industria y abastecimiento urbano- por los escasos recursos disponibles; esta competencia ya está restringiendo las actividades de desarrollo de muchos países. Por otro lado, la creciente escasez de recursos hídricos está originando una mayor competencia entre regiones o países por el acceso a los mismos.

Como consecuencia de todas estas fuentes de competencia, el agua está pasando a ser considerada cada vez más como un recurso escaso y valioso que demanda rigor en su manejo y un cuidado extremo. Una de las claves para la resolución de estos problemas está en el sector agrícola, ya que el regadío es el principal consumidor de agua, particularmente en las zonas áridas y semiáridas, con un 70% del consumo a escala mundial. En España, según datos de la Federación Nacional de Comunidades de Regantes (4), el consumo ha pasado de un 80 a un 67%, y esto se debe a los continuos esfuerzos de los agricultores para ahorrar caudales, con sus mejores prácticas, sus inversiones y las de los organismos oficiales.

No obstante, tanto en España como en la Comunidad Autónoma de Andalucía la cantidad de agua destinada a la agricultura siempre es mucho mayor que la destinada al resto de actividades (12). Por ello, es interesante conocer cuál es el manejo del agua en las Comunidades de Regantes en las que la disponibilidad de agua sea alta. Es posible que existan defectos en el manejo del riego por parte de los agricultores o que el uso del recurso agua no sea eficiente. Si se corrigen estas prácticas, se logrará un uso más eficiente del agua.

Todo intento de adaptar la demanda del agricultor a la demanda real de los cultivos supondría un mejor uso del agua, aplicándola sólo cuando sea necesaria, sin producir reducciones en la productividad de los cultivos, y manteniendo y/o aumentando de esta forma la renta del agricultor.

Para analizar las diferencias entre demandas reales y las verdaderamente demandadas por los cultivos, ha sido elegida la Colectividad de Puente Genil, perteneciente a la zona regable del Genil-Cabra (figura 1, pág. 109), situada en la Provincia de Córdoba, Comunidad Autónoma de Andalucía, Sur de España.

En este trabajo se pretende analizar la demanda de agua para regadío y examinar las posibilidades que hay para modificarla y racionarla con el objeto de lograr una política de gestión eficiente. Para ello, es necesario evaluar la gestión del agua dentro de los procesos agronómicos e hidráulicos que tienen lugar, desarrollar un sistema de información geográfico en la zona regable que relacione la situación geoespacial de las parcelas con los datos obtenidos en las mismas, y estudiar las necesidades de agua teóricas y sus discrepancias con las demandas reales de agua por parte de los agricultores mediante el uso de indicadores de calidad del riego a escala de parcela.



Figura 1. Situación de la Zona Regable del Genil-Cabra en España.

Figure 1. Location of the Genil-Cabra Irrigated Area in Spain.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la Zona Regable del Genil-Cabra

La Zona Regable del Genil-Cabra, y la Comunidad de Regantes que la gestiona, entraron en funcionamiento en 1989 como iniciativa pública. La zona regable, perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del Guadalquivir, comprende una extensión total de 40.085 ha situadas en la margen derecha del río Genil, principal afluente del río Guadalquivir por

su margen izquierda. Del total de la superficie que abarca la Comunidad de Regantes, sólo 37.010 ha son útiles para la agricultura regadía. Próximamente, la Comunidad de Regantes dará servicio a 22.000 ha aproximadamente y, por tanto, abastecerá a casi el 60% de todo lo previsto. La comunidad cuenta con 1.696 usuarios, con un tamaño medio de explotación de 8,9 ha. La superficie de riego actualmente es de 15.963 ha, de las que 8.780 ha corresponden a la Colectividad de Puente Genil en la que se ha llevado a cabo este trabajo.

El canal principal abastece a cada una de las estaciones de puesta en carga de la red. Actualmente, el canal tiene una longitud de más de 30 km y una pendiente de 1:10.000. Su capacidad es de 1,1 hm³, de los cuales se disponen 800.000 m³ útiles. Posee una sección de tipo parabólica, con un ancho máximo de 22,86 m, una profundidad de 4,15 m y es capaz de transportar 40 m³/s.

El sistema de distribución de agua es a presión mediante tubería enterrada y el riego se realiza según la demanda, proporcionando flexibilidad en la *frecuencia, cantidad y duración* del riego al agricultor, lo que permite en última instancia llevar a cabo una óptima programación de riego, en virtud de que cuenta con la disponibilidad de agua en forma permanente.

El clima de la zona se clasifica como Mediterráneo continental, caracterizado por inviernos fríos y veranos calurosos y secos, con una precipitación media anual de 606 mm, concentrándose las precipitaciones en los meses de invierno. La temperatura media oscila entre 17 y 18°C, siendo de unos 10°C en invierno y de 27°C en verano.

Los suelos predominantes son vertisoles y de origen aluvial. En este tipo de suelos se forman profundas grietas en las estaciones secas, lo que da lugar a la mezcla de materiales que cayó por ellas, favoreciendo la homogeneidad del perfil.

El relieve es el típico de las zonas de campiña, constituido por colinas con pendientes en general suaves y el terreno es de fácil mecanización casi en su totalidad, existiendo una red natural de drenaje superficial que permite una adecuada evacuación de las aguas de lluvia.

Los principales sistemas de riego que se pueden encontrar en la Colectividad son los siguientes: aspersión móvil, aspersión fija y goteo.. El sistema menos extendido es la aspersión con cobertura total. El riego por goteo es el sistema más utilizado en los últimos años, desplazando la aspersión móvil sobre todo en cultivos como el olivar y el algodón.

Cultivos y consumos

Usando datos de trabajos anteriores (8 y 11) y completando con datos de las campañas posteriores a ambos trabajos, se ha generado la figura 2 (pág. 111) en la que se muestra la evolución de los cultivos en la zona durante las últimas diez campañas de riego.

Durante la campaña 2007/2008, el cultivo predominante en la zona fue el olivar, ocupando un 47,5% de la superficie total, siguiéndole en orden de importancia el trigo con un 22,5%. Otros cultivos presentes en la zona son el girasol (5,7%), ajo (4,1%) y

algodón (2,2%) y con menor importancia alfalfa, patata, cebolla y haba. Los cultivos con necesidades de agua más elevadas (algodón y maíz) han ido disminuyendo año tras año: esto puede deberse a que el suministro de agua en la zona no está bien garantizado o que ha disminuido notablemente.

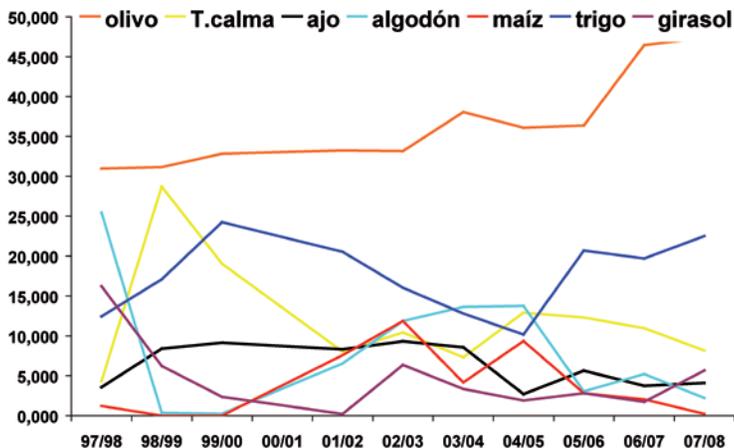


Figura 2. Evolución de los principales cultivos en la colectividad de Puente Genil.
Figure 2. Evolution of the principal crops in the Puente Genil community.

Los consumos se ven influenciados por la climatología de cada campaña. En la figura 3 se observa la relación existente entre el consumo en la Comunidad de Regantes con la precipitación en cada campaña, de tal forma que en campañas que han sido deficientes en lluvia, el consumo total de la comunidad ha aumentado, como ocurrió en la campaña 2004/2005 en la que hubo una gran sequía (7). Sin embargo, en la campaña 2002/2003 existió un aumento de consumo pese a que en ese año

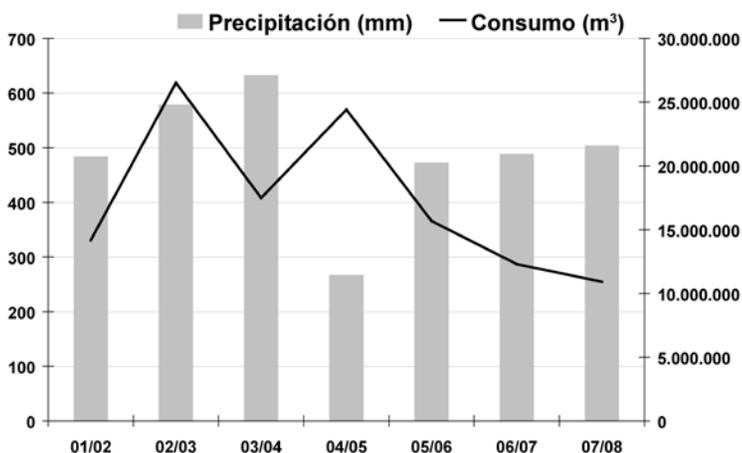


Figura 3. Evolución anual de la precipitación y de los consumos totales.
Figure 3. Annual evolution of precipitation and total water consumptions.

tuvieron más precipitaciones que en 2004/2005. Ello puede deberse a una mala gestión del riego en esa campaña. En la tabla 1 se muestran los consumos, totales y unitarios, de la Comunidad de Regantes en las últimas siete campañas.

Tabla 1. Consumos de agua totales y unitarios según campaña de riegos.

Table 1. Total and unit water consumptions by irrigation seasons.

| Campaña | Consumos totales (m ³) | Consumos unitarios (m ³ /ha) |
|-----------|---------------------------------------|--|
| 2001/2002 | 14.181.735 | 1.628,49 |
| 2002/2003 | 26.522.261 | 3.045,55 |
| 2003/2004 | 17.495.170 | 2.008,97 |
| 2004/2005 | 24.417.871 | 2.803,90 |
| 2005/2006 | 15.681.350 | 1.800,69 |
| 2006/2007 | 12.297.404 | 1.412,11 |
| 2007/2008 | 10.923.772 | 1.254,38 |

Indicadores de riego RIS, RWS y RRS

El indicador de riego denominado Suministro Relativo de Agua (RWS, Relative Water Supply) muestra la relación entre el agua que entra en el sistema (precipitación y riego) y el agua requerida (evapotranspiración y necesidades de lavado), y se calcula como el cociente entre la cantidad de agua disponible o utilizada y la cantidad de agua necesaria para la producción (5). El análisis del índice RWS permite conocer si la cantidad total de agua (riego y precipitaciones) con la que ha contado el cultivo durante su ciclo de crecimiento ha sido excesiva, suficiente o escasa (11). Los valores que van de 0,9 a 1,2 se consideran adecuados. Su principal utilidad es la de servir de base para un estudio comparativo y de análisis para zonas regables de diferentes regiones con distintas características:

$$RWS = \frac{\text{aportes de agua}}{\text{Evapotranspiración del cultivo}} = \frac{R + P_e}{ET_c}$$

siendo

R = riego

P = precipitación efectiva

ET_c = evapotranspiración real del cultivo

El indicador llamado Suministro Relativo de Agua de Riego (RIS, Relative Irrigation Supply) relaciona el volumen de agua distribuido para riego a los usuarios durante la campaña agrícola, con el volumen de agua de riego necesario por el cultivo a lo largo de su ciclo de vida (10) e informa sobre la calidad del riego aplicado al relacionar la cantidad de agua demandada con las necesidades netas de agua, ya que evidencia si el agricultor ha tenido en cuenta la evapotranspiración del cultivo y los requerimientos de lixiviación al usar un determinado volumen de agua. El valor óptimo del indicador estará en torno a la unidad, lo que significa que se satisfacen las necesidades hídricas no cubiertas con el agua de lluvia. Un valor por debajo de la unidad marcará un déficit de riego:

$$RIS = \frac{\text{aportes de agua de riego}}{\text{necesidades de riego del cultivo}} = \frac{R}{ET_c - P_e}$$

Ambos indicadores aportan información sobre la condición de escasez o exceso de agua y de cómo se ajusta el agua aplicada con la demandada (6).

Asimismo, se ha estudiado otro indicador: el Suministro Relativo de Agua por Precipitaciones (RRS, Relative Rainfall Supply) que sólo tiene en cuenta el aporte de agua por lluvia. De esta manera, se puede conocer en qué cuantía se satisfacen las necesidades hídricas del cultivo de forma natural (9). Cuando su valor es igual al de RWS en el mismo periodo significa que toda el agua que se aporta al cultivo es por precipitación y no existe riego:

$$RRS = \frac{\text{Precipitación efectiva}}{\text{Evapotranspiración del cultivo}} = \frac{P_e}{ET_c}$$

En este trabajo se han calculado los indicadores mencionados anteriormente (RIS, RWS y RRS) en 31 parcelas de la Zona Regable del Genil-Cabra durante las campañas 2000/2001 a 2007/2008. Rodríguez (11) y Romero (13) habían calculado los indicadores RIS y RWS pero sólo en 16 parcelas.

Para evaluar la gestión agronómica en la zona regable del Genil-Cabra es necesario calcular las necesidades hídricas de los cultivos presentes en las parcelas y en las campañas de estudio. Para ello se ha usado el programa Cropwat, versión 4.2 (1). Los datos climáticos provienen de la estación meteorológica ubicada en Santaella localizada dentro de la zona regable.

Sistema de información geográfica

Se ha desarrollado y mejorado un Sistema de Información Geográfica, SIG (3), comenzado en trabajos anteriores (13), con el objetivo de analizar la demanda de agua para regadío y examinar las posibilidades que hay para modificarla y racionarla con el objetivo de lograr una política de gestión eficiente en la zona regable del Genil-Cabra.

Las variables introducidas en el SIG del presente trabajo con su correspondiente información georreferenciada han sido las siguientes: situación geográfica; datos climáticos (temperatura y precipitación); datos edafológicos correspondientes a diversos muestreos de suelos (textura, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico, iones de cambio, calcio, sodio, potasio, carbonatos y caliza activa, fósforo asimilable, materia orgánica oxidable, nitrógeno orgánico y pH) (13); información parcelaria; sectores de riego y agrupaciones; red de distribución primaria y secundaria; estaciones de puesta en carga; variables agronómicas; parcelas con indicadores de riego y lecturas de caudal manuales (2). De los análisis químicos del suelo no se deducen problemas derivados de la calidad de las aguas usadas para el riego, razón por la cual no se han tenido en cuenta (13).

Los datos de cultivo, método de riego y volumen demandado en cada parcela corresponden a las campañas comprendidas entre los años 2000 y 2008. Durante este periodo se han calculado los indicadores en las 31 parcelas seleccionadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los indicadores según cultivo

Se ha realizado el cálculo de los indicadores de riego para los cultivos más relevantes de la zona (2). De acuerdo con los valores medios obtenidos del indicador RWS para cada uno de ellos se puede clasificar la gestión del riego, según cultivo, en tres categorías (tabla 2).

Tabla 2. Gestión del riego según cultivo y el valor del RWS.
Table 2. Irrigation management by crop and the RWS value.

| Cultivo | RWS | Gestión del riego |
|-----------|------|-------------------|
| olivar | 0,90 | adecuada |
| algodón | 0,91 | adecuada |
| girasol | 0,96 | adecuada |
| maíz | 0,88 | adecuada |
| ajo | 1,91 | en exceso |
| trigo | 1,53 | en exceso |
| espárrago | 0,58 | deficitaria |
| remolacha | 0,74 | deficitaria |

De los ocho cultivos estudiados, seis presentan valores de gestión por debajo de la unidad. Como cuatro de ellos (olivar, algodón, girasol y maíz) presentan valores de RWS cercanos a la unidad y el déficit es despreciable, la gestión del riego en estos cultivos se considera adecuada. En el caso de la remolacha y del espárrago el déficit se incrementa: valores de RWS menores de 0,8 indican una escasez permanente de agua disponible para el cultivo por lo que podría darse una reducción en la producción. En estos casos habría que aumentar la dosis de riego. Teniendo en cuenta la precipitación anual, una buena estrategia de riego sería igualar las necesidades hídricas del cultivo con el agua demanda por el regante, es decir, $RIS = 1$. Los dos cultivos que presentan una gestión ineficiente por exceso en el aporte de agua son el trigo y el ajo por tratarse de cultivos de invierno a los que, a pesar de disfrutar de lluvia natural, se les riega también habitualmente. En estos casos la estrategia consiste en la reducción de la dosis de agua siguiendo las mismas condiciones que en los casos anteriores.

Para estudiar en detalle la calidad del riego, los resultados que se exponen se van a centrar en el cultivo del olivo, el que más superficie ocupa y el de continua expansión durante las últimas campañas. Estos resultados se corresponden con las 17 parcelas que se identifican en la tabla 3 (pág. 115). Los resultados de las nueve primeras corresponden a los trabajos de Rodríguez (11) y Romero (13). Asimismo, se muestra la evolución de los indicadores a lo largo de 8 campañas de riego (2000/2001 a 2007/2008) y sus valores medios.

Los resultados muestran un riego claramente deficitario para los cultivos de espárrago y remolacha pues el valor medio del RIS es igual a 0,58 y 0,74 respectivamente, aunque es suficiente para satisfacer la demanda evaporativa en todo el ciclo de desarrollo del olivar, algodón y girasol ya que el valor medio del RWS es superior o igual a 0,90.

Los valores del indicador RIS a lo largo de todas las campañas son relativamente constantes y alcanzan su mínimo en la campaña 2003/2004 (campaña más húmeda en estudio), y es en esta campaña también cuando el intervalo de los valores del indicador es menor (2). La campaña con mayor amplitud de valores es la 2004/2005 (año más seco).

Tabla 3. Valores de RIS, RWS y RRS en el olivar.
Table 3. RIS, RWS and RRS values in olive crop.

| PARCELAS | 00/01 | | 01/02 | | 02/03 | | 03/04 | | 04/05 | | 05/06 | | 06/07 | | 07/08 | | RIS Medio | RWS Medio | RRS Medio |
|-----------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|-----------|-----------|-----------|
| | RIS | RWS | | | |
| 213-A | 0,60 | 1,15 | 0,78 | 1,05 | 0,53 | 0,82 | 0,35 | 0,58 | 0,41 | 0,57 | 0,31 | 0,56 | 0,90 | 0,45 | 0,92 | 0,50 | 0,82 | | |
| 213-B-01 | 0,30 | 0,93 | 0,32 | 0,78 | 0,24 | 0,60 | 0,43 | 0,64 | 0,55 | 0,69 | 0,11 | 0,46 | 1,20 | 1,32 | 0,42 | 0,90 | 0,45 | 0,79 | |
| 220 | 0,35 | 0,85 | 1,20 | 1,29 | 0,42 | 0,74 | 0,45 | 0,65 | 0,36 | 0,53 | 0,24 | 0,51 | 0,47 | 0,84 | 0,44 | 0,91 | 0,49 | 0,79 | |
| 225 | 0,30 | 0,81 | 0,23 | 0,73 | | | | | | | 0,31 | 0,56 | 0,27 | 0,71 | 0,49 | 0,95 | 0,32 | 0,75 | |
| 237 | 0,31 | 0,82 | 0,85 | 1,08 | 0,35 | 0,69 | 0,37 | 0,59 | 0,75 | 0,85 | 0,29 | 0,55 | 0,74 | 1,02 | 0,33 | 0,84 | 0,50 | 0,80 | |
| 238 | 0,88 | 1,22 | 1,22 | 1,30 | 0,81 | 1,03 | 0,66 | 0,81 | 0,97 | 1,03 | 0,57 | 0,75 | 0,58 | 0,91 | 1,22 | 0,92 | 0,86 | 1,00 | |
| 253 | 0,36 | 0,85 | 0,37 | 0,81 | 0,66 | 0,91 | 0,43 | 0,64 | 0,51 | 0,65 | 0,16 | 0,45 | 0,60 | 0,92 | 0,54 | 0,98 | 0,45 | 0,78 | |
| 293 | 0,61 | 1,03 | 0,99 | 1,17 | 0,56 | 0,84 | 0,36 | 0,59 | 0,50 | 0,65 | 0,20 | 0,48 | 0,37 | 0,77 | 0,49 | 0,95 | 0,51 | 0,81 | |
| I-104 | 0,44 | 0,91 | 0,40 | 0,83 | 2,47 | 2,27 | | | 2,48 | 2,25 | 0,91 | 0,99 | 2,15 | 1,94 | 0,53 | 0,97 | 1,34 | 1,45 | |
| 218 | 0,72 | 1,18 | 0,57 | 0,92 | 0,58 | 1,02 | 0,94 | 1,26 | 0,31 | 0,50 | 0,74 | 0,96 | 0,71 | 0,95 | 0,75 | 1,02 | 0,67 | 0,98 | |
| 219 | | | | | | | 0,82 | 1,19 | 1,05 | 1,08 | 2,35 | 1,97 | 1,02 | 1,12 | 1,22 | 1,31 | 1,29 | 1,33 | |
| 221 | 0,34 | 0,94 | 0,45 | 0,85 | 0,25 | 0,80 | 0,27 | 0,86 | 0,26 | 0,46 | 0,42 | 0,76 | 0,15 | 0,65 | 0,04 | 0,57 | 0,27 | 0,74 | |
| 292 | 0,18 | 0,83 | 0,26 | 0,74 | 0,25 | 0,79 | 0,46 | 0,97 | 0,13 | 0,36 | 0,69 | 0,93 | 0,74 | 0,97 | 0,65 | 0,89 | 0,41 | 0,81 | |
| 291 | 0,24 | 0,87 | 0,46 | 0,86 | 0,31 | 0,84 | 0,59 | 1,05 | 0,30 | 0,49 | 0,42 | 0,77 | 0,73 | 0,97 | 0,29 | 0,72 | 0,42 | 0,82 | |
| 402-I | | | | | | | | | 0,17 | 0,39 | 0,82 | 1,01 | 0,15 | 0,65 | 0,14 | 0,63 | 0,32 | 0,67 | |
| I-105 | 1,04 | 1,39 | 1,31 | 1,37 | 0,47 | 0,94 | 0,08 | 0,75 | 1,01 | 0,27 | 2,03 | 1,76 | 1,53 | 0,85 | 0,56 | 0,89 | 0,75 | 1,03 | |
| 403-01 | 0,26 | 0,88 | 0,16 | 0,67 | 0,41 | 0,90 | 0,54 | 1,03 | 0,76 | 0,69 | 0,78 | 0,99 | 0,70 | 0,95 | 0,59 | 0,92 | 0,50 | 0,88 | |
| RIS Medio | 0,46 | | 0,64 | | 0,59 | | 0,48 | | 0,58 | | 0,67 | | 0,69 | | 0,53 | | 0,59 | | |
| RWS Medio | 0,98 | | 0,96 | | 0,94 | | 0,83 | | 0,72 | | 0,85 | | 0,97 | | 0,90 | | 0,90 | | |
| RRS | 0,71 | | 0,58 | | 0,63 | | 0,70 | | 0,26 | | 0,50 | | 0,56 | | 0,54 | | 0,56 | | 0,56 |

En la mayoría de las campañas el valor de RWS se sitúa en torno a la unidad. El mayor valor se registra en la campaña 2000/2001 con un valor de 0,98 (año considerado como húmedo). El mínimo valor de RWS se registra en la campaña 2004/2005 con 0,72.

A la hora de considerar estos resultados hay que recordar que el denominador del indicador RWS incluye toda el agua requerida, evapotranspiración y necesidades de lavado, aunque en el caso de la presente investigación se ha limitado a la evapotranspiración pues no se hacen prácticas de lavado habitualmente.

La media de las campañas del indicador RRS es de 0,56 y, por tanto, comparando este valor con el de RWS se puede deducir que la media de aportación de agua de lluvia es del 40% siendo el resto aplicado mediante riego.

La figura 4 representa la evolución de los valores de los indicadores RWS y RRS a lo largo de las campañas. Dado que la proporción de agua aportada de forma natural viene marcada por la curva de RRS, el intervalo existente entre ambas curvas es el agua aportada mediante riego en las distintas campañas.

Se puede observar como en la campaña 2003/2004, año más lluvioso de los estudiados, el riego es menor que en el resto y, en la campaña siguiente, año más seco, el riego es mayor. Así pues, el regante modifica el aporte de agua según las condiciones climatológicas. En el resto de campañas la proporción de agua aportada se mantiene relativamente constante.

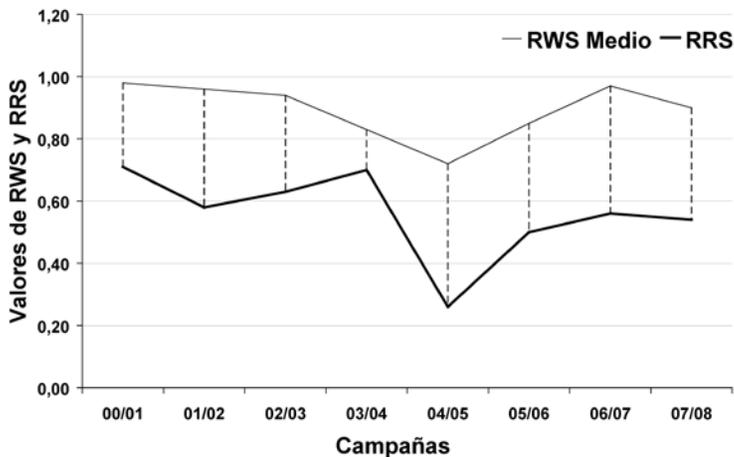


Figura 4. Evolución del RWS y RRS en el olivar.

Figure 4. Evolution of RWS and RRS in olive crop.

Análisis de los indicadores según método de riego

En la figura 5 se muestra la evolución de los valores de los indicadores RIS, RWS y RRS calculados en aquellas parcelas cuyo sistema de riego es por goteo. Los agricultores que tienen instalado este tipo de riego aportan de forma general menos agua de la necesitada por el cultivo. La media obtenida del indicador RIS se ve influenciada por el hecho de que la mayoría de las parcelas con cultivo de olivar se riegan por goteo y, dado que los valores de RIS en olivar son más bajos (0,59) que en el resto de cultivos, excepto en remolacha y espárragos que ocupan muy poca superficie, el valor final se reduce significativamente. En las ocho campañas de estudio los valores de indicador RIS, que manifiesta la calidad del riego, son deficitarios, y el máximo valor de RIS se alcanza en la campaña 2007/2008 con un valor de 0,70. Sin embargo, el indicador RWS muestra un valor cercano a la unidad en cuatro de las campañas, lo que significa que el sistema de riego por goteo satisface la demanda evaporativa de los cultivos en esas campañas aplicando un riego deficitario.

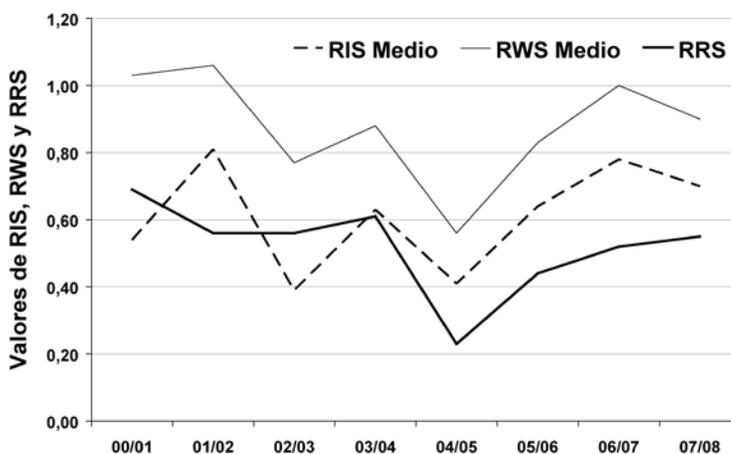


Figura 5. Evolución de los indicadores en riego por goteo.

Figure 5. Evolution of indicators in drip irrigation.

El indicador RRS se ve influenciado por el tipo de riego ya que en su resultado interviene tanto la precipitación como la evapotranspiración del cultivo. La media obtenida es de 0,52. Se observa en la figura 5 cómo el valor de este indicador es muy reducido (0,23) en la campaña 2004/2005, aunque no es la campaña en la que más riego, calculado como la diferencia entre RWS y RRS, se aporta. Por el contrario, en la campaña más lluviosa, 2003/2004, sí se observa que el aporte de agua de riego es menor.

En el caso de riego por aspersión, los resultados de los tres indicadores se muestran en la figura 6 (pág. 118). Aunque en aspersión se mantiene la tónica de aporte deficitario de agua, se observa que en este tipo de riego los valores de RWS y RIS son superiores a los de goteo. Esto es lógico debido a que este sistema de riego aporta un mayor volumen de agua a los cultivos que el riego localizado.

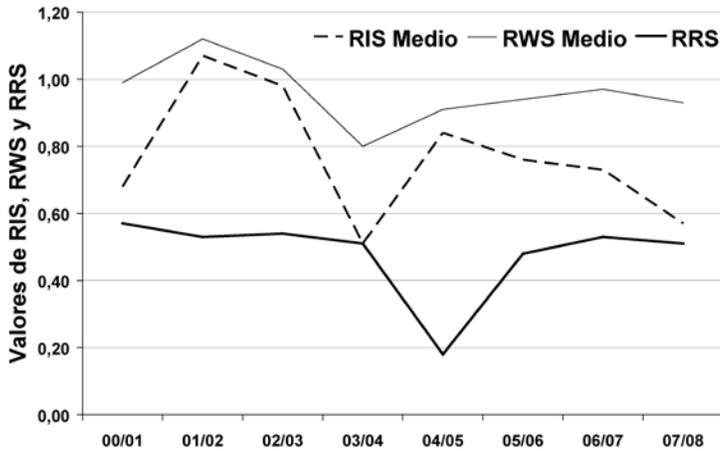


Figura 6. Evolución de los indicadores en riego por aspersión.
Figure 6. Evolution of indicators in sprinkler irrigation.

El mayor valor de RIS (1,07) se encuentra en la campaña 2001/2002, en tanto que los valores de RWS son más constantes oscilando en torno a la unidad, por lo que los cultivos regados con este método de riego satisfacen adecuadamente su demanda evaporativa. En lo que respecta al valor del indicador RRS, en la campaña 2004/2005 alcanza su mínimo lo que obliga a realizar un mayor aporte de agua de riego hasta alcanzar un valor adecuado de RWS.

Una comparación de los valores medios de los tres indicadores en cada método de riego se muestra en la figura 7.

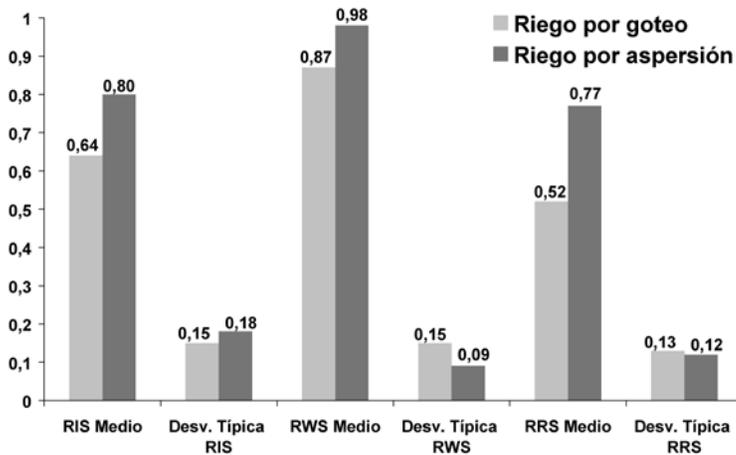


Figura 7. Comparación del valor medio y desviación típica de los indicadores según el tipo de riego.
Figure 7. Comparison of indicator mean and standard deviation values by type of irrigation.

Como ya se ha visto para los valores puntuales de cada campaña, se observa también que los valores medios de los indicadores RIS y RWS son más bajos en el caso del riego por goteo. El valor del indicador RIS igual a 0,64 en riego por goteo indica que la gestión del riego es deficitaria ya que los cultivos no satisfacen las necesidades hídricas con el volumen de agua aportado. El valor del mismo indicador en riego por aspersión (0,80) también es insuficiente pero aceptable ya que los cultivos satisfacen en gran parte su demanda evaporativa.

Además, en riego por aspersión los agricultores hacen un mejor uso del recurso del agua ya que los valores de RIS y RWS están más próximos a la unidad. El valor medio del RWS igual a 0,98 en aspersión casi iguala el agua requerida con el agua aplicada. El valor medio de RRS, en cambio, es más elevado en riego por goteo, ya que la mayoría de los cultivos regados de este modo son cultivos arbóreos, olivar casi en exclusiva, con un ciclo de desarrollo que abarca una campaña completa y, por tanto, la demanda evaporativa se satisface en mayor medida con el agua de riego al compensarse los valores elevados de evapotranspiración de los meses de verano con las mayores precipitaciones de otoño-invierno.

En la misma figura 7 (pág. 118) se incluyen los valores de la desviación típica que ilustran sobre la dispersión de los valores medios de los tres indicadores. En este caso, la desviación típica es relativamente pequeña por lo que se puede considerar que los valores medios son bastante representativos.

Análisis de los indicadores según tipo de suelo

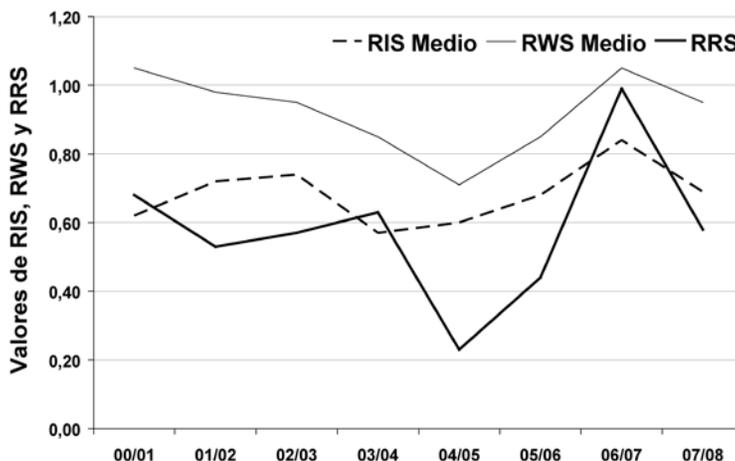


Figura 8. Evolución de los indicadores para un suelo de textura franco arcillo limosa.
Figure 8. Evolution of indicators in a silty clay loam texture soil.

En la figura 8 y la 9 (pág. 120) se presenta la evolución de los valores de los tres indicadores en suelos de textura franco arcillo limosa y de textura franco arenosa, respectivamente. Los análisis de suelo correspondientes a las parcelas en estudio se han tomado de trabajos anteriores (8, 13). La mayoría de estas parcelas tienen suelos con textura franco arcillo limosa.

Los valores de RIS y RWS obtenidos en parcelas con suelos de textura franco arcillo limosa (figura 8, pág. 119) son relativamente altos, lo que significa que la gestión de riego ha sido muy adecuada al menos en cinco de las ocho campañas estudiadas.

En el caso de las parcelas con suelos de textura franco arenosa (figura 9), se observa un gran incremento de los tres indicadores en la campaña 2001/2002, llegando el RIS a alcanzar un valor de 1,85 a causa de la gran cantidad de ajo sembrado en estos suelos durante esta campaña y, como ya se ha comentado (tabla 2, pág. 114), la gestión del agua de riego con este cultivo es altamente ineficiente.

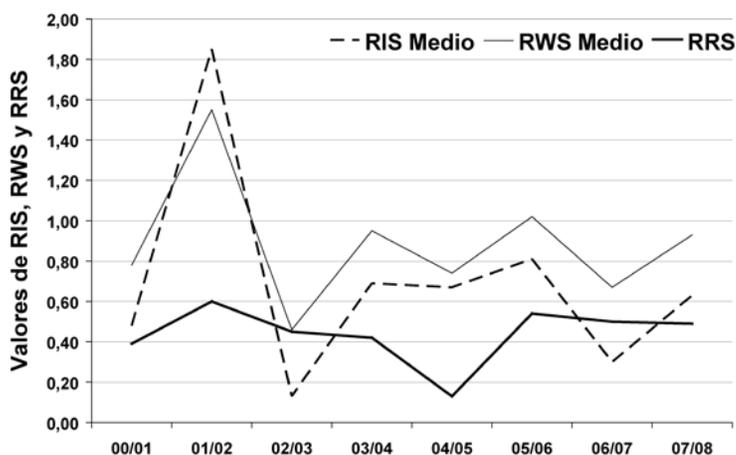


Figura 9. Evolución de los indicadores para un suelo de textura franco arenosa.
Figure 9. Evolution of indicators in a sandy loam texture soil.

Los valores medios de los indicadores difieren muy poco según la textura del suelo (figura 10, pág. 121) lo que puede interpretarse en el sentido de que las características del suelo no son tenidas en cuenta por el agricultor a la hora de regar. Por lo general se aplica más agua a los cultivos sembrados en tierras de textura franco arenosa ya que en éstas el agua se retiene menos y hay más pérdidas por percolación y escorrentía; en cambio, los suelos de textura franco arcillo limosa tienen mayor capacidad de retención de agua. Los valores medios más elevados de RWS en suelos de textura franco arcillo limosa (figura 10) indican que los cultivos sembrados en estos suelos satisfacen mejor sus necesidades hídricas. El valor que difiere más según el tipo de textura del suelo es el RRS, siendo más elevado para el caso del suelo franco arcillo limoso dada su, ya mencionada, mayor capacidad de retención de agua que le permite poner a disposición del cultivo más agua proveniente de la precipitación.

Los valores de la desviación típica que se muestran junto a los valores medios en la figura 10 son relativamente altos en los suelos de textura franco arenosa para el RWS y, especialmente, para el RIS. Ello significa que el agua de riego necesaria no es uniformemente interpretada por los agricultores que, en algún caso, se ven impelidos a aplicar más agua en exceso temiendo que, por su menor capacidad de retención, no se haya almacenado en el suelo en cantidad suficiente.

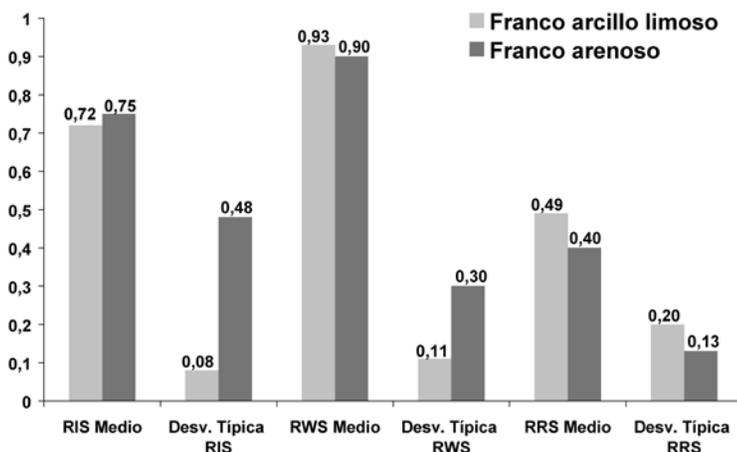


Figura 10. Comparación del valor medio y desviación típica de los indicadores según la textura del suelo.

Figure 10. Comparison of indicator mean and standard deviation values by soil texture.

Análisis de los indicadores según el tamaño de la parcela

Las parcelas estudiadas se han clasificado en cuatro categorías atendiendo a su tamaño: menores de 2 ha, entre 2 y 5 ha, entre 5 y 10 ha y mayores de 10 ha (7). Los valores medios y las desviaciones típicas de los indicadores RIS y RWS se muestran en la figura 11.

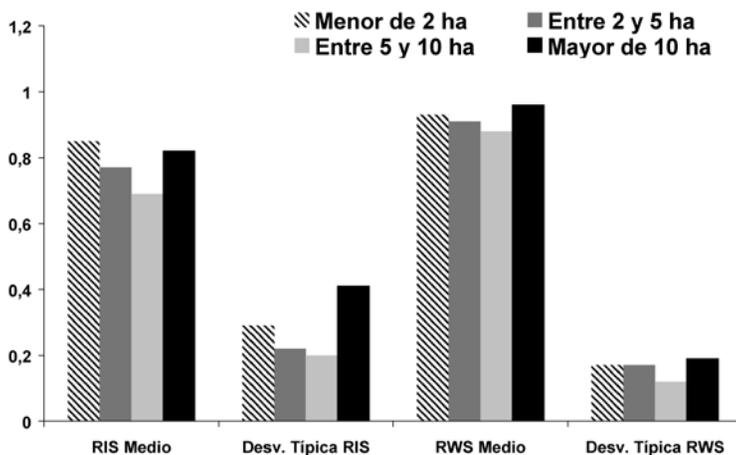


Figura 11. Comparación del valor medio y desviación típica de los indicadores RIS y RWS según tamaño de la parcela.

Figure 11. Comparison of indicator mean and standard deviation values by plot size.

Se observa que los mejores resultados se obtienen para las parcelas de tamaños menores y mayores. En las más pequeñas ello se explica por ser más fácil establecer un mayor control sobre el cultivo. En el caso de aquellas cuya superficie supera las 10 ha se puede considerar que poseen un tamaño agrícola suficiente para que el agricultor les dedique mayor atención a las prácticas de riego. Además, muchas de estas parcelas se riegan por aspersión por lo que los valores de los indicadores son mayores (figura 7, pág. 118).

Los valores de la desviación típica son aceptables salvo para el RIS de las parcelas de mayor tamaño. La causa de ello es que el intervalo de superficies con el que se trabaja en este segmento es bastante mayor que en el resto (entre 10 y 30 ha) lo que origina una mayor dispersión de los resultados.

Análisis global de los indicadores en la zona regable

El cálculo global de los indicadores de riego permite conocer el comportamiento conjunto de toda la zona regable. Además, su comparación con los obtenidos en las 31 parcelas seleccionadas debería dar una idea de la representatividad de las mismas.

A modo de ejemplo, los resultados obtenidos al calcular dichos coeficientes con datos de la campaña de riegos 2006/2007, y considerando todos los cultivos sembrados, se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Valores medios de los indicadores globalmente y por parcelas. Campaña 2006/2007.

Table 4. Mean values of indicators globally and by plots. 2006/2007 campaign.

| | RIS | RWS | RRS |
|------------------------|------------|------------|------------|
| Global Zona Regable | 0,36 | 0,72 | 0,49 |
| Parcelas seleccionadas | 0,64 | 0,80 | 0,40 |

La lectura de los contadores existentes en todas las parcelas proporciona un volumen de agua consumido de 12.297.404 m³, equivalente a 1.400 m³/ha (tabla 1, pág. 112). En relación con esta cifra relativamente baja se ha de tener en cuenta que en esta campaña hubo restricciones de agua por parte del organismo de cuenca y sólo se concedió un máximo de 2.500 m³/ha.

El valor global de los indicadores es meramente orientativo ya que no se consideran las pérdidas de agua ocurridas durante el bombeo y durante la conducción y distribución de agua. En cambio, se han eliminado del cálculo la tierra calma, los edificios y los invernaderos.

Las diferencias observadas entre los índices se deben, por un lado, a las pérdidas no consideradas y, por otro lado, a que el número de parcelas estudiadas, 31, es pequeño en relación con las casi 1.700 existentes. Además, al haberse suministrado a los regantes un volumen relativamente pequeño, el porcentaje de pérdidas aumenta.

CONCLUSIONES

Se han empleado tres indicadores de riego: el RIS (indicador de riego óptimo), el RWS (indicador de disponibilidad de agua) y el RRS (indicador de disponibilidad de agua de lluvia) para estudiar la gestión del agua dentro de una gran zona regable. De los resultados obtenidos se pueden derivar mejoras en su manejo. El indicador más importante es el RIS ya que es el que permite interpretar el manejo del riego que realiza el agricultor. Este indicador con un valor medio en torno a 0,60 muestra que los riegos son deficitarios. Los valores del indicador RWS son más elevados, alrededor de 0,80 y normalmente por encima de este valor, por lo que se puede considerar que la gestión del riego es adecuada ya que es suficiente para satisfacer la demanda evaporativa durante el ciclo de desarrollo del cultivo, aunque valores próximos a 0,80 indican que el cultivo puede sufrir estrés hídrico en algún momento de su vida. La variabilidad en los resultados del indicador RRS es menor y su valor oscila en torno a 0,40, pero hay que tener en cuenta también el cultivo para saber si la fracción de agua de lluvia que satisface las necesidades hídricas netas es apropiada o no. De la comparación entre los indicadores RWS y RRS se puede deducir la parte de evapotranspiración cubierta por el agua de lluvia.

La determinación de los indicadores de riego diferenciando según cultivo, método de riego, textura del suelo o tamaño de las parcelas, permite discriminar la influencia de cada factor individualmente sobre la gestión del riego y facilita la adopción de medidas de mejora.

La simple extrapolación de resultados obtenidos en las parcelas estudiadas para analizar el comportamiento del regante y del riego en toda la zona regable no ha dado resultados satisfactorios por el escaso número de parcelas y por la necesaria evaluación de pérdidas en el sistema.

El uso de sistemas de información geográfica para caracterizar las Comunidades de Regantes e incluir todo tipo de información referente a variables agronómicas e hidráulicas facilita mucho la gestión eficiente tanto del agua como de cualquier otra variable agrícola.

BIBLIOGRAFÍA

1. Clarke, D. 1998. Cropwat for windows user guide. Food and Agricultural Organization of the United Nation. Souhamton University: National Water Research. Egipto. 45 p.
2. Díaz, M. P. 2009. Integración de variables agronómicas e hidráulicas en un entorno SIG para la gestión eficiente del agua en la Zona Regable del Genil-Cabra (Córdoba). Trabajo profesional fin de carrera. Universidad de Córdoba. 144 p.
3. ESRI. 2002. Getting started with ArcGis. Redlands. New York (USA).
4. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA). 2008. Ahorro y eficiencia energética en las Comunidades de Regantes. Madrid.
5. Levine, G. 1982. Relative Water Supply: An explanatory variable for irrigation systems. Technichal Report N° 6. Cornell University Ithaca. New York. USA.

6. Molden, D.; Sakthivadivel, R.; Perry, C. J.; de Fraiture, C.; Kloezen, W. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems. Research report 20. International Water Management Institute. Colombo.
7. Pérez Arellano, R. 2009. Estudio de la demanda de agua de riego de la Zona Regable del Genil-Cabra mediante sistemas de telecontrol para una gestión eficiente. Trabajo profesional fin de carrera. Universidad de Córdoba. 161 p.
8. Pérez Urrestarazu, L. 2007. Aplicación de los indicadores para el análisis de las acciones de mejora en zonas regables y para el desarrollo de un modelo de gestión integral del agua de riego. Tesis Doctoral. Universidad de Córdoba. 236 p.
9. _____; Rodríguez Díaz, J. A.; Camacho Poyato, E.; Ibáñez Verdú, M.; Deltell Padilla, G. 2005. Análisis estacional y espacial del uso del agua en una zona regable. XXIV Congreso Nacional de Riegos. Elche. p. 241-242.
10. Perry, C. J. 1996. Quantification and measurement of a minimum set of indicators of the performance of irrigation systems. Colombo. Sri Lanka. International Irrigation Management Institute. 173 p.
11. Rodríguez, J. R. 2002. Caracterización de la demanda de agua de riego en la zona regable del Genil-Cabra (sectores II-III y IV-VII). Trabajo profesional fin de carrera. Universidad de Córdoba. 124 p.
12. Roldán, J. 2007. Mejora del uso del agua en el regadío. En: E. Cabrera y L. Babiano (co-ords.). La sequía en España. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid. p. 228-247.
13. Romero, J. L. 2008. Estudio de la distribución de agua y cultivos a escala de parcela en la zona regable de Genil-Cabra. Desarrollo y utilización de un SIG para tratamiento de la información. Trabajo profesional fin de carrera. Universidad de Córdoba. 147 p.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen al proyecto "Uso de técnicas de inteligencia artificial para la estimación de la precipitación y la gestión eficiente en zonas regables", subvencionado por la CICYT, la financiación parcial de este trabajo.