

J.I. Córcoles, J.A. de Juan, J.M. Tarjuelo, J.F. Ortega y M.A. Moreno

**LA GESTIÓN DEL AGUA Y LA ENERGÍA EN EL REGADÍO
MEDIANTE TÉCNICAS DE BENCHMARKING**

Separata ITEA

INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA, VOL. **106** N.º 2 (115-141), 2010

La gestión del agua y la energía en el regadío mediante técnicas de Benchmarking

J.I. Córcoles, J.A. de Juan, J.M. Tarjuelo, J.F. Ortega y M.A. Moreno

Juan Ignacio Córcoles. Centro Regional de Estudios del Agua (CREA), Universidad de Castilla-La Mancha, Ctra. de Las Peñas km. 3,2, 02071 Albacete, JuanIgnacio.Corcoles@uclm.es

Resumen

Para la mejora de la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos hídricos y energéticos, se establece la necesidad de desarrollar herramientas que contribuyan a mejorar la gestión de zonas regables, como es el caso de las técnicas de "Benchmarking".

La finalidad de este trabajo es presentar los resultados de la aplicación de esta metodología en siete zonas regables de Castilla-La Mancha, no sólo con el uso de indicadores descriptores y de gestión, sino también, con la introducción, como aspecto novedoso en este tipo de técnica, de indicadores de tipo energético.

Mediante la aplicación combinada de las técnicas multivariantes de Análisis de Componentes Principales, y Análisis Cluster, se han planteado tres propuestas de reducción del número de indicadores, que puedan ser de utilidad para la caracterización de zonas regables.

Palabras clave: Zonas regables, gestión, indicadores de gestión y energéticos, técnicas de "Benchmarking".

Summary

Water and energy management of irrigation systems by using Benchmarking techniques

To carry out a sustainable use of water and energy resources, it is necessary to develop decisions support tools that permit to improve the management of irrigable areas, such as benchmarking techniques. In this paper, the results of applying this methodology in seven irrigation societies in Castilla-La Mancha, are shown.

To apply this tool, performance indicators and, mainly, energy indicators have been developed, which could help to improve the management of irrigable areas.

By means of the combined application of Principal Components Analysis and Cluster Analysis three proposals for reducing the number of indicators has been indicated, which can be useful to characterize irrigable areas.

Key words: Irrigable areas, management, performance and energy indicators, benchmarking techniques.

Introducción

En la agricultura de regadío actual, la escasez de agua, característica de zonas áridas y semiáridas, junto con el encarecimiento de los costes de producción, son aspectos muy importantes a considerar para analizar la viabilidad del regadío. La agricultura de regadío necesita adoptar una nueva gestión basada en la consecución de la máxima rentabilidad, siendo un pilar básico para esta tarea el uso sostenible de los recursos disponibles.

Entre estos recursos, además del aprovechamiento eficiente del agua, se debe tener en cuenta también el de la energía, y muy particularmente en zonas como Castilla-La Mancha, cuya fuente de agua principal son los recursos subterráneos, relacionado con el elevado coste que la energía eléctrica supone en numerosas zonas regables, sobre todo tras la liberalización de las tarifas eléctricas.

Algunos de los aspectos de la gestión del regadío, de la optimización del uso del agua (económica, social, ambiental), o de la evaluación de las actuaciones desarrolladas, deben ser abordados de modo urgente e integrarse en los procesos de toma de decisiones. En general, las actuaciones sobre el regadío son sometidas a evaluaciones económicas, sociales o ambientales previas, pero con muy poca frecuencia los resultados son evaluados tras la actuación y en un plazo de tiempo adecuado.

Por todo ello, es muy importante el desarrollo de herramientas que contribuyan a la mejora de la eficiencia de los recursos dentro de la estructura de zonas regables. Entre estas herramientas, una metodología a destacar son las técnicas de "Benchmarking" (Malano y Burton, 2001; Malano et al., 2004), de utilidad como ayuda a la toma de decisiones en la gestión de sociedades de riego. Esta técnica consiste en la comparación en-

tre distintas organizaciones y el aprendizaje de las mejores actuaciones llevadas a cabo por cada una de ellas, a partir de la elaboración de un conjunto de indicadores que definen los aspectos fundamentales de gestión y manejo del regadío. Estos indicadores permiten sintetizar, manejar y unificar la información recopilada en diferentes zonas de estudio (Rodríguez et al., 2008; Córcoles, 2009).

Con este trabajo se pretende evaluar la gestión del agua y de la energía en siete Sociedades Agrarias de Transformación (SAT), ubicadas en Castilla-La Mancha, a través de la aplicación de las técnicas de "Benchmarking", y que permita ofrecer líneas de mejora para la gestión de recursos hídricos y energéticos.

Material y métodos

Zonas de estudio

El estudio se ha llevado a cabo durante tres campañas (2006-2008), en siete Sociedades Agrarias de Transformación (SAT) de Castilla-La Mancha (Fig. 1), cinco en la provincia de Albacete: SAT "A", SAT "B", SAT "C", SAT "D", SAT "G", y dos en la de Cuenca: SAT "E" y SAT "F". Se tratan de redes colectivas de riego en común, que utilizan recursos hídricos subterráneos, procedentes de la Cuenca Hidrográfica del Júcar (SAT "A", SAT "C", SAT "E", SAT "F", SAT "G"), y del Segura (SAT "B" y SAT "D"). En todas ellas, la extracción de agua se realiza mediante captaciones, siendo almacenada en embalses de regulación. Para la impulsión de agua a la red de riego a presión, todas las zonas disponen de estaciones de bombeo, exceptuando la SAT "D", que carece de estas instalaciones, al estar el embalse a suficiente altura para garantizar el riego por gravedad.



Figura 1. Ubicación de las zonas de estudio
 Figure 1. Location of the analyzed Water Users Associations

Indicadores. Adquisición de datos

Los indicadores propuestos quedan clasificados en 3 categorías: descriptores, de gestión y energéticos.

Indicadores descriptores

Este tipo de indicadores son los propuestos, principalmente, por el IPTRID (Malano y Burton, 2001). Permiten realizar una caracterización del entorno de cada zona y de su infraestructura. Están clasificados en 10 categorías (Tabla 1).

Para elaborar estos indicadores, se recurre a la información proporcionada por los gestores de la sociedad, completados, en su mayoría, con datos de los proyectos técnicos de cada zona. Otras fuentes de información han sido las series históricas, procedentes de estaciones agroclimáticas completas y termopluviométricas, para completar aspectos relativos al clima, así como las clasificaciones de la WRB (1999) y de la Soil Taxonomy (USDA-NCRS, 2006), para la caracterización edáfica.

Indicadores de gestión

Los indicadores pertenecientes a este grupo quedan clasificados en cuatro categorías: de rendimiento, financieros, de eficiencia de la producción y ambientales (Tablas 1 a 4, Anexo 1). La mayor parte de estos indicadores han sido propuestos previamente por diversos autores (Alexander, 1999; Burt y Styles, 1999; Malano y Burton, 2001; Rodríguez *et al.*, 2008), siendo adaptados, en su mayoría, para su aplicación en las zonas de este estudio. Asimismo, estos indicadores se han completado con la incorporación de nuevos indicadores de gestión más específicos y de elaboración propia para este trabajo. La ampliación más destacada corresponde a los indicadores de eficiencia de la producción, que recogen aspectos relacionados con el margen bruto y neto total de los cultivos; además, se incluye un elevado número de indicadores de tipo ambiental, relacionados, principalmente, con la calidad del agua de riego, así como el aporte de unidades fertilizantes de nitrógeno, fósforo y potasio.

Tabla 1. Indicadores descriptores
 Table 1. Descriptive indicators

Campo	Indicador
Localización	Continente País Provincia Zona regable Municipio Paraje Coordenadas U.T.M.
Clima	Clasificación climática Precipitación acumulada media anual (mm/año) Precipitación máxima mensual (mm/mes) Evapotranspiración de referencia acumulada media anual (mm/año) Evapotranspiración de referencia máxima mensual (mm/mes) Evapotranspiración de referencia máxima diaria (mm/día)
Suelo	Clasificación edáfica
Institucional	Primer año de funcionamiento Tipo de gestión Funciones agencia suministradora Sistema de facturación Sistema de propiedad de la tierra
Socioeconómico	Sistema de explotación Mercado destino de producción Política de precios
Reserva y disponibilidad de agua	Fuente de agua Disponibilidad de agua Duración de las temporadas de riego
Tamaño de la zona	Número total de usuarios Superficie total regable (ha) Superficie media anual regada (ha) Superficie media anual no regada (ha) Clasificación tamaño parcelas Intensidad de cultivo (%)
Agua asignada y distribución	Tipo de distribución de agua Frecuencia de riego Tipo de sistema de riego y superficie (ha)
Infraestructura de riego	Método de extracción de agua y superficie de alcance (ha) Características de la infraestructura de captación, almacenamiento y distribución de agua Sistema de control de agua Medida del suministro de agua
Cultivo	Especie cultivada Superficie regada por cultivo (ha)

Los indicadores de rendimiento (Tabla 1, Anejo 1), un total de 9, están relacionados con la disponibilidad de agua de la zona regable, superficie de riego y necesidades de los cultivos, así como manejo de riego de los mismos. Los 36 indicadores financieros (Tabla 2, Anejo 1) son relativos a los ingresos percibidos por las sociedades, así como a los diferentes gastos de gestión de la zona (de mantenimiento, de personal, energéticos, de manejo del sistema, etc.). Los 25 indicadores de eficiencia de la producción (Tabla 3, Anejo 1) recogen información relativa al valor total de la producción agrícola, junto con el margen bruto y neto de los cultivos, relacionada con las necesidades hídricas de los mismos, superficie de riego o volumen de agua aportado. Por último, el grupo más numeroso son los indicadores de tipo ambiental (Tabla 4, Anejo 1), un total de 44, relacionados con parámetros de calidad del agua de riego y aporte de nutrientes.

La fuente principal de información de estos indicadores tiene su origen en las bases de datos de cada sociedad, relacionados con diversos aspectos de su gestión (volúmenes de agua empleados, ingresos y costes percibidos, etc.). Por otra parte, la realización de encuestas a un número representativo de agricultores de cada zona permite completar la información relativa a los indicadores de eficiencia de la producción (precios y producción media por cultivo, etc.), y ambientales (aporte de fertilizantes), completados éstos últimos con toma de muestras y análisis de la calidad del agua de riego.

Indicadores energéticos

Como aspecto más novedoso en este trabajo, además de la ampliación de los indicadores de eficiencia de producción y ambientales, destaca la introducción de los indicadores energéticos. Este grupo, que incluye 37 indicadores (Tabla 5, Anejo 1), queda dividido en cuatro categorías: descriptivos, de fun-

cionamiento, de eficiencia y de calidad de suministro.

Este tipo de indicadores han sido elaborados, no sólo a partir de la información proporcionada por las sociedades de riego, sino también a través de la medida de parámetros hidráulicos, eléctricos y topográficos, empleando para ello equipos especializados (Córcoles, 2009).

Parámetros hidráulicos

Para cada una de las bombas que componen las instalaciones de riego, tanto de las captaciones como del rebombado de cada sociedad, se ha medido el caudal descargado, empleando para ello un caudalímetro de ultrasonidos. Estas medidas se realizaron en dos momentos puntuales de la campaña, correspondientes a las etapas de menor y mayor demanda hídrica de la red, y de forma continuada durante un periodo de 30 minutos para cada equipo de impulsión. En el caso particular de las bombas de velocidad variable, se ha medido el caudal para todo el rango de caudales suministrados por la misma (Córcoles, 2009). La medida de presión se realiza de forma continua durante toda la campaña, mediante la instalación de un transductor de presión en el colector de impulsión de las estaciones de bombeo. El registro se realiza en un "datalogger" conectado al transductor de presión, sincronizado con el caudalímetro de ultrasonidos.

Las medidas del nivel estático y dinámico del agua se han llevado a cabo empleando una sonda de nivel del tipo eléctrica de contacto.

Parámetros eléctricos

Para el registro de los parámetros eléctricos (tensión, intensidad de corriente, potencias activa, reactiva y aparente, energías activa, reactiva inductiva y capacitiva, frecuencia, factor de potencia, etc.) en las instalaciones de bombeo, se han utilizado dos equipos

analizadores de redes. Ambos equipos se utilizan para el análisis de la calidad de suministro eléctrico, que permite detectar cualquier evento que se produzca en la red eléctrica (huecos, interrupciones, armónicos, etc.) (Córcoles, 2009).

En los centros de transformación de las zonas regables, se han instalado analizadores de redes eléctricas de forma permanente durante toda la campaña de riegos, con registros de información a intervalos de 10 minutos. Además, se han realizado medidas puntuales de los equipos consumidores de energía, de forma sincronizada con las medidas de caudal y presión.

Altimetría y planimetría

Para la determinación de los datos topográficos, se utilizó un receptor geodésico de doble frecuencia para cinemático en tiempo real (estación GPS). En la totalidad de las zonas de estudio se realizaron medidas de posición y cota de cada una de las captaciones, estación de bombeo, coronación de los embalses de almacenamiento, e hidrantes.

Gestión de la información

Se han desarrollado un conjunto de aplicaciones informáticas, encaminadas a la ayuda a toma de decisiones, que permiten la introducción de las técnicas de "Benchmarking" en zonas regables, así como el manejo de la información relativa a los diversos indicadores utilizados y su cálculo.

La herramienta relacionada con el uso de indicadores de gestión (INGES)(Córcoles et al., 2007; Córcoles, 2009) permite el manejo de la información relativa a los diversos indicadores utilizados. Se trata de un software específico de gestión, comparación y análisis de Asociaciones de Riego en Común, desarrollado en Visual Basic (versión 6.0), "contra base" de datos Microsoft Access. Mediante

esta aplicación, se calculan los indicadores desarrollados para este estudio.

Por otra parte, se ha generado una aplicación relacionada con un Modelo de Análisis de la Eficiencia Energética en Estaciones de Bombeo (MAEEB)(Moreno et al., 2007), de utilidad para el cálculo de algunos de los indicadores energéticos. Esta aplicación permite realizar un análisis de la eficiencia energética en estaciones de bombeo, y para redes de riego con regulación manométrica. Se pretende que esta herramienta ayude a la toma de decisiones referentes al manejo de estaciones de bombeo, así como una mejora de la eficiencia en el uso de la energía en estas instalaciones.

Tratamiento estadístico

Estadística descriptiva. Medidas de posición y dispersión de la media

Con la utilización de esta técnica descriptiva, o de medidas de posición y dispersión de la media (Romero y Zúnica, 2005), se pretende conocer la variabilidad, en las tres campañas de estudio, de cada uno de los indicadores sobre los que se ha desarrollado esta metodología, para cada una de las siete zonas regables. Los estadísticos manejados para analizar la tendencia central y la dispersión de los valores son la media aritmética y el coeficiente de variación (CV).

Análisis de Componentes Principales

La aplicación de esta técnica de análisis multivariante pretende reducir la dimensionalidad del problema, en este caso, el número de indicadores. Se transforman un grupo de variables, generalmente correlacionadas, en un conjunto más reducido, de nuevas variables incorrelacionadas (factores). Los factores están constituidos como combinación lineal de las variables originales, y son de utilidad para explicar una gran parte de la varianza de éstas (Haan, 2002).

Análisis Cluster

Esta técnica se desarrolla empleando los indicadores resultantes con la aplicación de la técnica de Análisis de Componentes Principales, para conocer las agrupaciones entre las distintas sociedades de estudio a partir de esos indicadores. Se emplea un tipo de Cluster Jerárquico Aglomerativo, con criterios de similitud mediante distancia euclídea, o por coeficientes de correlación, siendo, en ambos casos, el criterio de unión establecido el de enlace simple, basado en la distancia mínima entre objetos (Alhamed et al., 2002; Unal et al., 2003).

Por último, también, se aplica esta metodología, empleando el criterio de distancia por correlación, para establecer las agrupaciones entre los indicadores resultantes del Análisis de Componentes Principales, para cada campaña de estudio, con el objetivo de conocer el grado de similitud entre estos indicadores, y tratar de obtener aquellos que mejor describan y permitan caracterizar las zonas regables.

Resultados y discusión

Indicadores descriptores

En la Tabla nº 2, se recogen las características de cada zona de riego, de acuerdo a este grupo de indicadores.

Indicadores. Estadística descriptiva

Estos indicadores quedan recogidos en la Tabla nº 3.

Indicadores de rendimiento

Los indicadores que relacionan el volumen de agua que entra al sistema por unidad de área regable ($V_{T}Sa$) y regada ($V_{T}Sr$) mues-

tran los valores más elevados en las zonas con presencia mayoritaria de cultivos con elevadas necesidades hídricas, tales como SAT "A", SAT "B", SAT "C" y SAT "G", comprendidos en un rango medio de entre 4500 $m^3 ha^{-1}$ y 6700 $m^3 ha^{-1}$. A diferencia de éstas, se encuentran sociedades como SAT "D", SAT "E" y SAT "F", con un intervalo medio de entre 630 $m^3 ha^{-1}$ y 1700 $m^3 ha^{-1}$ para estos indicadores, al ser zonas con mayor presencia de cultivos leñosos (principalmente, vid). A modo de ejemplo, la variabilidad entre campañas del indicador $V_{T}Sr$ no ha sido muy elevada en las distintas zonas, siendo la más alta en SAT "D" y SAT "E", con valores del coeficiente de variación (CV) del 17% y 15%, respectivamente.

En las zonas de riego localizado como SAT "E" y SAT "F", el valor medio de la eficiencia de distribución de agua (ED) no es muy alto (77%), debido a que en estas zonas se han llevado a cabo labores de limpieza del cabezal de filtrado, así como de la red de tuberías, con el consiguiente consumo de agua y energía que ello supone, unido al resto de factores que influyen en la ED (pérdidas existentes en la distribución, evaporación de agua embalsada, etc.). Esta baja eficiencia se relaciona con el hecho de que en ambas zonas de riego localizado, apenas se riega el 50% de su superficie total, lo que reduce el volumen de agua suministrado al sistema, siendo por ello más importantes las pérdidas de agua en la distribución. En el resto de zonas, ED alcanza valores superiores al 84%. La variabilidad entre campañas ha sido más notable en la SAT "D", con un CV próximo al 11%.

En relación al manejo del riego en cada sociedad, cabe destacar el indicador del aporte relativo de agua de riego (ARAR), cuyos valores más altos se obtienen en la SAT "E" (1,26) y la SAT "F" (1,49), que reflejan aportes de dosis de riego más elevadas a los cultivos, en comparación con las necesidades

Tabla 2. Características de las zonas regables
 Table 2. Characteristics of Water Users Associations

Indicador	SAT "A"			SAT "B"			SAT "C"			SAT "D"		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
ET0 acumulada* (mm)	1339,8	1291,5	1291,6	1302,3	1296,3	1289,0	1205,1	1183,0	1116,6	1310,2	1296,2	1266,8
Precipitación acumulada (mm)	313,8	269,6	473,8	319,4	462,6	419,6	301,6	330,6	494,4	268,4	315,8	394,2
Superficie regable (ha)	863			491			764			1671		
Superficie regada (ha)	683,6	691,5	759,9	397	388,9	416,9	750,2	590,4	729,9	1250,8	1312,6	1283,4
Captaciones (n°)	4			5			6			1		
Capacidad embalse (m ³)	130000			116000			5 de 5000 1 de 6000			60000		
Estación de bombeo (n° bombas)	11			6			3 (6 sectores) 2 (1 sector)			-		
Distribución de agua	Turnos			Demanda			Turnos			Demanda		
Sistema de riego	Aspersión Localizado			Aspersión Localizado			Aspersión Localizado			Aspersión Localizado		
Cultivos predominantes	Maíz (23,4%) Cebada (14,5%) Alfalfa (12,3%) Cebolla (9,9%)			Maíz (22,8%) Vid (21,7%) Zanahoria (13,8%) Cebada (5,8%)			Maíz (39%) Cebolla (19,5%) Cebada (17,8%) Vid (7,8%)			Vid (53,2%) Olivo (27,5%) Almendra (8,5%)		

* Obtenida mediante el método de Penman – Monteith.

Tabla 2. Características de las zonas regables (continuación)
 Table 2. Characteristics of Water Users Associations (continuation)

Indicador	SAT "E"			SAT "F"			SAT "G"		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008	2006	2007	2008
ET0 acumulada* (mm)	1306,5	1249,3	1198,2	1306,5	1249,3	1198,2	1145,7	1072,8	956,1
Precipitación acumulada (mm)	339,2	374,6	572,6	339,2	374,6	572,6	364,4	330,2	463,6
Superficie regable (ha)	170			267			550		
Superficie regada (ha)	87	103,8	111,8	92,8	107,5	115,7	492,6	492	493,8
Captaciones (nº)	1			1			5		
Capacidad embalse (m³)	20000			20000			23000		
Estación de bombeo (nº bombas)	4			4			10		
Distribución de agua	Demanda			Demanda			Demanda		
Sistema de riego	Localizado			Localizado			Aspersión Localizado		
Cultivos predominantes	Vid (86,4%) Olivo (2,9%)			Vid (87,1%) Olivo (4,2%) Almendro (3,7%)			Maíz (31%) Cebada (20,5%) Cebolla (16,6%) Vid (14,9%)		

* Obtenida mediante el método de Penman – Monteith.

Tabla 3. Indicadores de gestión y energéticos de las zonas regables
 Table 3. Performance and energy indicators of Water Users Associations

	SAT "A"			SAT "B"			SAT "C"			SAT "D"						
	2006	2007	2008	CV (%)	2006	2007	2008	CV (%)	2006	2007	2008	CV (%)	2006	2007	2008	CV (%)
V_r (m ³ ha ⁻¹)	6695,11	6768,46	6426,61	2,7	6477,47	5767,04	5483,64	8,7	6625,81	5411,17	6033,79	10,1	1118,52	857,20	838,98	16,7
ED (%)	99,10	98,30	97,38	0,9	85,44	103,37	88,55	10,4	89,90	92,01	97,03	3,9	93,85	86,30	74,59	11,4
ARAR (adimensional)	1,01	1,09	1,06	4,0	1,13	1,34	0,94	17,4	0,98	0,95	1,21	13,4	0,92	0,67	0,56	26,0
CMSSr (€ ha ⁻¹)	379,45	361,01	375,62	2,6	579,94	626,04	553,57	6,3	384,79	425,64	466,17	9,6	96,76	75,28	83,71	12,7
CMSSvs (€ m ⁻³)	0,057	0,054	0,060	5,0	0,105	0,109	0,121	7,7	0,065	0,085	0,080	14,1	0,092	0,102	0,134	19,9
CENSr (€ ha ⁻¹)	200,24	231,15	254,39	11,9	478,53	471,26	431,70	5,5	260,56	248,68	344,11	18,3	41,81	34,74	37,47	9,4
CENSvs (€ m ⁻³)	0,030	0,035	0,041	14,9	0,086	0,082	0,094	7,4	0,044	0,050	0,059	14,9	0,040	0,047	0,060	20,8
VPSr (€ ha ⁻¹)	3479,36	4614,04	3468,57	17,1	6249,50	5502,78	4463,74	16,6	4831,02	4721,04	3453,48	17,7	2056,76	2466,86	2139,63	9,8
VPVs (€ m ⁻³)	0,524	0,694	0,554	15,3	1,129	0,954	0,976	9,4	0,811	0,948	0,590	23,1	1,959	3,335	3,419	28,2
MBSr (€ ha ⁻¹)	1674,92	2295,67	1560,61	21,5	2438,18	2292,61	1807,96	15,1	2176,15	2582,01	1309,42	32,1	1018,61	1232,23	995,88	12,0
MBVs (€ m ⁻³)	0,252	0,345	0,249	19,3	0,441	0,397	0,395	6,2	0,365	0,519	0,224	40,0	0,970	1,666	1,591	27,1
UFNSr (UFN ha ⁻¹)	143,52	151,15	146,18	2,6	173,55	161,31	184,38	6,7	197,95	183,51	200,00	4,6	161,06	160,79	160,23	0,3
UFNVs (UFN m ⁻³)	0,022	0,023	0,023	3,9	0,031	0,028	0,040	19,2	0,033	0,037	0,034	5,4	0,153	0,217	0,256	24,8
NtSr (kW ha ⁻¹)	3,90	3,86	3,48	6,1	3,74	3,80	4,42	9,5	2,88	3,66	2,93	13,9	0,29	0,27	0,28	2,5
EacSr (kWh ha ⁻¹)	3803,63	3962,92	3708,26	3,4	7211,03	6229,85	4826,50	19,7	4272,98	3753,63	4472,24	8,9	589,34	451,65	450,69	16,0
EacV _r (kWh m ⁻³)	0,568	0,585	0,577	1,5	1,113	1,116	0,935	9,8	0,645	0,694	0,741	6,9	0,527	0,527	0,537	1,1
EacVs (kWh m ⁻³)	0,573	0,596	0,593	2,1	1,303	1,080	1,056	11,9	0,717	0,754	0,764	3,3	0,561	0,611	0,720	12,9
ICE (m)	132,52	131,50	138,78	2,9	225,34	233,11	235,13	2,2	130,18	130,67	136,45	2,6	115,09	117,32	120,91	2,5

Tabla 3. Indicadores de gestión y energéticos de las zonas regables (continuación)
 Table 3. Performance and energy indicators of Water Users Associations (continuation)

	SAT "E"			SAT "F"			SAT "G"					
	2006	2007	2008	CV (%)	2006	2007	2008	CV (%)	2006	2007	2008	CV (%)
$V_{T}Sr$ (m ³ ha ⁻¹)	1071,78	1390,09	1074,50	15,5	1734,15	1652,52	1495,47	7,5	5431,96	5906,31	5200,30	6,5
ED (%)	82,96	69,36	81,45	9,6	80,00	72,10	80,25	6,0	87,09	88,36	85,91	1,4
ARAR (adimensional)	1,24	1,45	1,09	14,1	1,60	1,52	1,35	8,3	0,84	0,93	0,93	5,5
CMSSr (€ ha ⁻¹)	165,39	156,34	174,17	5,4	244,24	236,71	227,72	3,5	485,39	522,73	490,28	4,1
CMVs (€ m ⁻³)	0,186	0,162	0,199	10,2	0,176	0,199	0,190	6,1	0,103	0,100	0,110	4,8
CENSr (€ ha ⁻¹)	71,24	75,30	78,66	4,9	107,94	105,05	98,42	4,7	331,59	364,13	354,54	4,8
CENVs (€ m ⁻³)	0,080	0,078	0,090	7,6	0,078	0,088	0,082	6,3	0,070	0,070	0,079	7,5
VPSr (€ ha ⁻¹)	2052,72	2552,76	2576,15	12,4	2034,26	2703,68	2409,42	14,1	3228,88	5348,38	3537,08	28,4
VPVs (€ m ⁻³)	2,309	2,648	2,944	12,1	1,466	2,269	2,008	21,4	0,683	1,025	0,792	21,0
MBSr (€ ha ⁻¹)	539,37	682,03	581,89	12,2	575,32	620,10	587,17	3,9	1380,48	2854,69	1526,53	42,3
MBVs (€ m ⁻³)	0,607	0,707	0,665	7,7	0,415	0,520	0,489	11,4	0,292	0,547	0,342	34,4
UFNSr (UFN ha ⁻¹)	136,80	139,04	135,21	1,4	143,62	143,88	141,43	0,9	175,68	188,23	173,96	4,3
UFNVs (UFN m ⁻³)	0,154	0,144	0,154	3,8	0,104	0,121	0,118	8,1	0,037	0,036	0,039	3,9
NtSr (kW ha ⁻¹)	4,53	3,74	3,54	13,3	4,67	3,99	3,83	10,7	4,76	4,75	4,82	0,8
EacSr (kWh ha ⁻¹)	1080,38	1047,22	893,62	9,9	1720,71	1467,65	1126,52	20,7	5253,73	5751,83	4607,58	11,0
EacV _r (kWh m ⁻³)	1,008	0,753	0,832	15,1	0,992	0,888	0,753	13,6	0,967	0,974	0,886	5,2
EacVs (kWh m ⁻³)	1,215	1,086	1,021	8,9	1,240	1,232	0,939	15,1	1,111	1,102	1,031	4,0
ICE (m)	159,64	154,03	159,92	2,1	151,36	146,59	153,13	2,2	164,21	165,10	167,50	1,0

de riego de los mismos, estimadas considerando riego deficitario. Conviene destacar que son zonas donde predominan suelos de horizonte argílico, de manera que la frecuencia y dosis de riego necesarias no han de ser tan elevadas como en otras sociedades, además de que se tratan de zonas con menor experiencia de los agricultores en cuanto al manejo del riego, en comparación con otras zonas de similares características, tales como la SAT "D", con un ARAR de 0,72. Este valor está relacionado con la limitación de aporte hídrico para cultivos leñosos que existe en esta zona, con un máximo de $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. En el resto de sociedades, con valores de este indicador más próximos a la unidad, destaca la SAT "G", con un ARAR de 0,9, relacionado, principalmente, con el diferente manejo del riego, en la mayoría de las parcelas, de los cereales de invierno respecto a otras zonas, con dosis de aplicación de agua inferior a las necesidades de estos cultivos. El indicador ARAR muestra una mayor variabilidad en la SAT "D", con un CV del 26%, relacionado con la mayor variación del volumen suministrado a usuarios en las tres campañas. De acuerdo con los valores de este indicador, en las zonas con mayor presencia de cultivos leñosos (principalmente, vid), se plantea la necesidad de seguir incidiendo en el uso de herramientas como el Servicio Integral de Asesoramiento al Regante de Castilla-La Mancha, con el fin de contribuir a una mejora en el manejo de este tipo de cultivos.

Indicadores financieros

Los costes de manejo del sistema por unidad de área regable (CMSSa) y regada (CMSr) alcanzan valores importantes en las zonas con predominio de riego por aspersión, destacando SAT "B" y SAT "G", reduciéndose considerablemente en las zonas de riego localizado (SAT "D", SAT "E", SAT "F"). Un aspecto a tener en cuenta es la disminución

de las diferencias existentes entre algunas sociedades cuando se efectúa la comparación de los costes de manejo del sistema por unidad de volumen de agua (CMSV_T y CMSVs), alcanzando los valores más elevados de estos indicadores en la SAT "E" y SAT "F", cuyos volúmenes de agua de riego totales son inferiores al resto de zonas. Respecto al indicador CMSVs, en SAT "C" y SAT "D", con CV del 14% y 20%, respectivamente, la variabilidad de este indicador es de las más elevadas, teniendo en cuenta que en ambas zonas hubo un descenso importante del volumen suministrado a usuarios en alguna de las tres campañas de estudio.

De entre las diversas partidas que componen los costes de manejo del sistema (CMS), los costes energéticos (CEN) son los que tienen una mayor representación. Este grado de participación es más notable en las zonas de riego por aspersión, como la SAT "B" y la SAT "G", donde los CEN suponen, un 78,6% y 70,1%, respectivamente, de los CMS; en el caso de las zonas de riego localizado (SAT "D", SAT "E", SAT "F") la participación de los CEN es menor, alrededor del 45%.

La SAT "B" y la SAT "G" son las sociedades con los valores medios de los CEN por unidad de área regable (CENSa) y regada (CENSr) más altos, comprendidos entre 313 € ha^{-1} y 460 € ha^{-1} , como cabría esperar, puesto que la SAT "B" es la zona de mayor profundidad media del nivel del agua ($152,74 \text{ m}$), así como la altura manométrica media (188 m), lo que incrementa el gasto energético en la sociedad; en el caso de la SAT "G", se debe, principalmente, al funcionamiento continuo de las bombas de velocidad variable durante toda la campaña, al ser una red de riego a la demanda, incluso en periodos tarifarios caros, encareciendo en cierta medida los CEN. En el extremo opuesto, se encuentran las zonas de riego localizado, como es el caso de la SAT "D", donde se obtienen los menores valores de CENSa (29 € ha^{-1}) y

CENSr (38 € ha^{-1}), teniendo en cuenta que esta sociedad no precisa de sistema de bombeo de agua a la red de riego.

La tendencia es diferente en el caso de los costes energéticos por unidad de agua de riego suministrada (CENVs), de tal manera que se estrechan las diferencias entre las distintas sociedades. A modo de ejemplo, destacar los valores de CENVs en zonas como SAT "E" ($0,083 \text{ € m}^{-3}$; CV = 7,61%) y SAT "F" ($0,082 \text{ € m}^{-3}$; CV = 6,30%), con presencia de riego localizado, entre los más altos, junto a la SAT "B" ($0,088 \text{ € m}^{-3}$; CV = 7,35%), con predominio de sistema de riego por aspersión. El hecho de que en todas las sociedades se utilicen recursos hídricos subterráneos contribuye a explicar las similitudes encontradas en las diversas zonas respecto a los indicadores que relacionan los CEN por volumen de agua.

Indicadores de eficiencia de la producción

Los indicadores relativos al valor total de la producción agrícola por unidad de área regable (VPSa) y regada (VPSr), muestran los valores más bajos (entre 900 y 2400 € ha^{-1}) en las zonas de riego localizado con predominio de cultivos leñosos (SAT "D", SAT "E" y SAT "F"). Cabe destacar que, en estas tres sociedades, se obtiene la menor variabilidad para estos indicadores entre campañas, teniendo en cuenta la escasa variación de las producciones y precios percibidos por los agricultores de los cultivos leñosos. Del resto de zonas, los mayores VPSa y VPSr se alcanzan en SAT "B" (alrededor de 5000 € ha^{-1}), con una importante representación de cultivos hortícolas, de mayor valoración económica.

Si se considera el valor total de la producción por unidad de volumen de agua suministrada (VPVs), el comportamiento es diferente. A modo de ejemplo, SAT "D", SAT "E" y SAT "F", son las zonas con valores medios más elevados de VPVs, de $2,904 \text{ € m}^{-3}$, $2,633$

€ m^{-3} y $1,914 \text{ € m}^{-3}$, respectivamente. Hay que tener en cuenta que en estas zonas hay presencia mayoritaria de cultivos con escasas necesidades hídricas (vid, olivo y almendro), a diferencia del resto (SAT "A", SAT "B", SAT "C", SAT "G"), con cultivos con altas demandas de agua, hecho que explica los bajos valores de VPVs en estas últimas. La menor variación de VPVs por campaña se presenta en SAT "B" y SAT "E", con valores del CV del 9,35% y 12,06%, respectivamente, siendo más elevada en zonas como SAT "C" (CV = 23,09%), SAT "D" (CV = 28,22%), SAT "F" (CV = 21,39%) y SAT "G" (CV = 20,99%).

En relación al margen bruto total de la producción agrícola (MB), mencionar los indicadores relativos a unidad de área regada (MBSr) y volumen de agua de riego suministrado (MBVs). Las zonas con menores MBSr son las de presencia mayoritaria del cultivo de vid, como SAT "E" (601 € ha^{-1} ; CV = 12,2%) y SAT "F" (594 € ha^{-1} ; CV = 3,9%), siendo algo superior a ambas en la SAT "D" (1082 € ha^{-1} ; CV = 12,05%), puesto que en esta sociedad hay una representación importante de cultivos como olivo y almendro, además de ser una zona con mayor experiencia en el manejo de cultivos leñosos, lo que posiblemente puede repercutir en menores costes asociados a los cultivos. Respecto al indicador MBVs, los valores más elevados se presentan en SAT "D", SAT "E" y SAT "F", siendo el más elevado en SAT "D", puesto que en esta zona se reducen los aportes de agua de riego aplicado por parcela y cultivo, teniendo en cuenta que tiene limitado el aporte máximo por parcela a $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Indicadores ambientales

En las diferentes zonas de estudio, el agua empleada es de adecuada calidad para el uso de riego, si bien existe cierto riesgo de salinidad en algunos casos. Cabría esperar estos resultados, puesto que los valores obtenidos son representativos de la calidad

del agua de riego en estas zonas de la Región, y que responden a las características de las mismas.

De entre el resto de indicadores ambientales, a modo de ejemplo, cabe destacar el aporte de unidades fertilizantes de nitrógeno por unidad de área regada (UFNSr) y volumen de agua suministrado (UFNVs). Respecto a UFNSr, existen menores diferencias entre las diversas zonas de estudio, que muestra la importancia en la utilización de este nutriente en los cultivos de las diversas zonas. En SAT "C" y SAT "G", con 193,82 UFN ha⁻¹ y 179,28 UFN ha⁻¹, se alcanzan los valores más elevados de este indicador, puesto que son zonas con importante presencia de cultivos como maíz y cebolla, y donde en muchas ocasiones se realizan aportes que superan incluso las 300 UFN ha⁻¹, sobre todo en parcelas arrendadas; en caso contrario se encuentran SAT "E" y SAT "F", con 137,02 UFN ha⁻¹ y 142,97 UFN ha⁻¹, con la presencia mayoritaria del cultivo de vid, con menores aportes de UFN ha⁻¹ en comparación con algunos cultivos de otras zonas de estudio. En general, la variabilidad del indicador UFNSr no es muy alta, con valores del CV que oscilan entre el 0,26% de la SAT "D" y el 6,67% de la SAT "B".

En el caso del indicador UFNVs, el valor medio más elevado se manifiesta en las zonas con presencia de cultivos leñosos tales como SAT "D", SAT "E" y SAT "F", con valores de 0,209 UFN m⁻³, 0,151 UFN m⁻³ y 0,114 UFN m⁻³, respectivamente. Por el contrario, los valores de este indicador se reducen en las zonas con mayor heterogeneidad en la distribución de cultivos, y mayoritariamente con elevadas necesidades hídricas (maíz, cebolla, zanahoria, etc.), comprendidos entre 0,023 UFN m⁻³ de la SAT "A" y 0,037 UFN m⁻³ de la SAT "G". La variabilidad entre campañas de este indicador no es excesivamente alta, con valores de CV inferiores al 9%, exceptuando SAT "B" (CV = 19,24%) y SAT "D" (CV = 24,80%).

Indicadores energéticos

Dentro de este grupo, destacar la potencia instalada medida por unidad de área regada (NtSr), que alcanza el valor medio más bajo en SAT "D" (0,27 kW ha⁻¹; CV = 2,48%), debido a que en esta sociedad no hay estación de bombeo, y sólo dispone de un único sondeo. En el resto de sociedades, es importante reseñar que no hay grandes diferencias en este indicador en zonas con presencia de riego por aspersión (SAT "A", SAT "B", SAT "C" y SAT "G") y localizado (SAT "E" y SAT "F"), debido a que, en ambos casos, gran parte de la potencia instalada de cada zona corresponde a los equipos de captación de agua subterránea.

Mención especial requieren los indicadores relativos a la energía activa total consumida por unidad de área regada (EacSr), y volumen de agua que entra al sistema (EacV_T) y suministrada (EacVs). La sociedad con mayor valor medio de EacSr es SAT "B" (6089,13 kWh ha⁻¹), teniendo en cuenta que la altura manométrica media de los sondeos es la más elevada (188 m). Entre las zonas con menor EacSr se encuentran SAT "E" y SAT "F", inferiores a 1500 kWh ha⁻¹, destacando sobre el resto SAT "D" (497,23 kWh ha⁻¹), que no dispone de estación de bombeo a la red. Respecto a la variación entre campañas de EacSr, la SAT "B" (CV = 19,68%), donde hubo sustitución de dos grupos de impulsión en la campaña 2008, y SAT "F" (CV = 20,73%), con la reparación del sondeo en esa misma campaña, han sido las sociedades donde se ha encontrado mayor variabilidad, siendo muy escasa en el caso de la SAT "A" (CV = 3,36%).

En el caso de EacVs, mencionar la similitud de los valores de SAT "E" y SAT "F" con zonas como SAT "B" y SAT "G", grandes consumidoras de energía. Este aspecto puede deberse a que en SAT "E" y SAT "F", a pesar de ser sociedades con menor consumo de

energía, la extracción de agua se hace a una profundidad media del agua (100 m), y a una altura manométrica media (115 m) elevadas, que repercute en el incremento de los indicadores $EacV_T$ y $EacVs$; además, se tratan de las dos zonas con los valores más bajos de volumen de agua de riego, no sólo por la presencia de cultivos leñosos, sino también por la escasa superficie regada en ambas por campaña.

Respecto a $EacV_T$, los valores de este indicador ponen de manifiesto ciertas mejoras llevadas a cabo en algunas zonas, tales como en SAT "B", SAT "F" y SAT "G". En el caso de SAT "B", existe un descenso importante del indicador $EacV_T$ en 2008 (un 16,2% inferior al de 2007), sobre todo por la sustitución de, al menos, dos de los cuatro sondeos de la zona. En SAT "F" y SAT "G", para la campaña 2008, se produce un descenso de este indicador del 15,2% y 9%, respectivamente, respecto a 2007, debido a la reparación de algunos de los sondeos de ambas zonas. Estas mejoras fueron posibles tras haberse llevado a cabo, durante la campaña 2007 (Córcoles et al., 2008; Moraleda et al., 2008), la aplicación del Protocolo de Auditorías Energéticas (Abadía et al., 2008) en las siete zonas objeto de estudio.

Para finalizar con el análisis de indicadores, se muestran los resultados del índice de carga energética (ICE), cuyo valor más elevado se manifiesta en la SAT "B", próximo a 232 m. La elevada profundidad media del agua de esta zona, unido a la distancia de algunas de las captaciones al embalse, hace que la altura manométrica media de las mismas se incremente, lo que explica el valor de este indicador. En el resto de zonas, SAT "D" presenta un valor más bajo de ICE (valor medio de 117 m), donde, a pesar de que tiene una profundidad media del agua no es muy alta, el embalse se encuentra a una altura elevada del único sondeo que bombea la totalidad del volumen que entra

al sistema (V_T), así como alejado del mismo. Destacan los valores de las zonas de riego localizado de SAT "E" y SAT "F", con ICE medio de 157 m y 150 m, respectivamente, incluso superiores a zonas como SAT "A" y SAT "C". Esta similitud se debe a que la altura manométrica media de los sondeos de SAT "E" y SAT "F" es similar, e incluso superior, a la de otras zonas de riego por aspersión, teniendo en cuenta la elevada profundidad media del agua (alrededor de 100 m) en ambas. Estos aspectos contribuyen a explicar el encarecimiento de los costes energéticos de SAT "E" y SAT "F", así como la elevada potencia instalada en estas sociedades para los equipos de impulsión.

Análisis de Componentes Principales. Análisis Cluster

Tras la aplicación de la técnica de Análisis de Componentes Principales a 96 indicadores de la muestra inicial de 151 (Córcoles, 2009), ha sido posible la reducción de los mismos hasta un total de 79.

Los indicadores resultantes de la aplicación de esta metodología se han utilizado para establecer los agrupamientos entre las distintas zonas regables, obtenidos tras la aplicación de la técnica de Análisis Cluster. Con el tipo de Cluster Jerárquico Aglomerativo empleado, se diferencian dos grandes grupos, constituidos, por un lado, por las zonas de riego por aspersión (SAT "A", SAT "B", SAT "C", SAT "G") y, por otro, por las de riego localizado (SAT "D", SAT "E", SAT "F") (Fig. 2). De un modo general, destaca que, en las zonas de riego localizado, las sociedades con mayor similitud (SAT "E" y SAT "F"), muestran una mayor separación en comparación con las zonas de riego por aspersión, debido a que las variaciones en el manejo de las instalaciones de riego localizado influyen más en este tipo de sociedades que en las de aspersión.

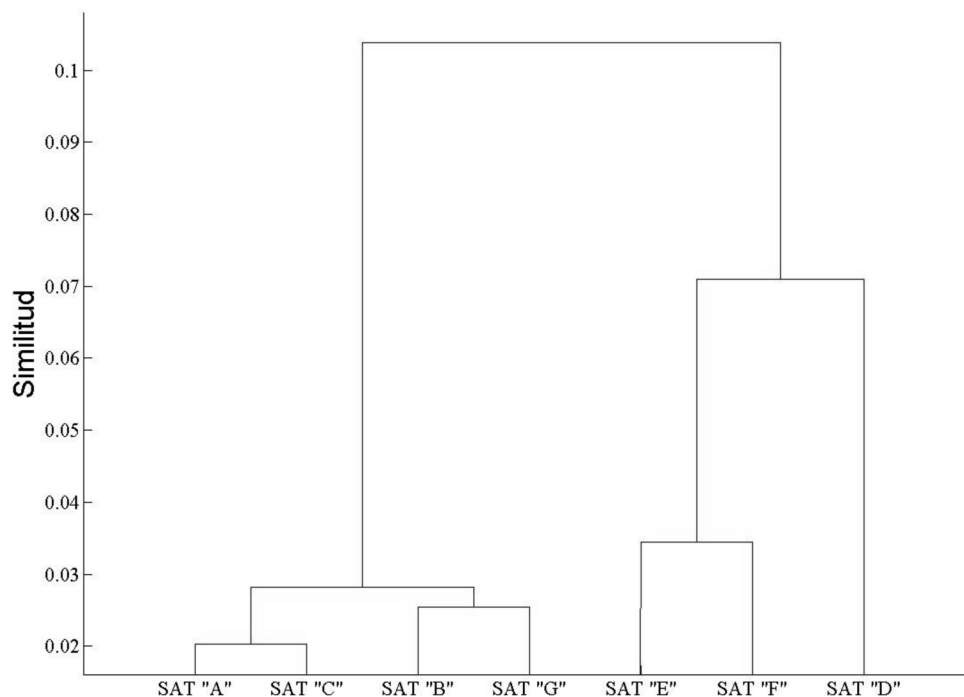


Figura 2. Dendrograma de agrupamiento de las zonas regables con todos los indicadores
 Figure 2. Dendrogram for water users associations clustering

Grupo 1

Este grupo lo constituyen las zonas de riego localizado, siendo SAT "E" y SAT "F" las zonas con mayor similitud. Se tratan de dos redes colectivas de riego a la demanda, con presencia mayoritaria de cultivos leñosos, principalmente vid. Ambas zonas se caracterizan por mostrar un manejo del riego análogo, con aportes de agua medios de alrededor de $1500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. En comparación con la otra zona de riego localizado (SAT "D"), la SAT "E" y SAT "F" muestran un cierto encarecimiento de los costes de manejo del sistema, muy relacionado con el hecho de que ambas sociedades cuentan, a diferencia de otras sociedades, con un asesoramiento técnico, que se ha incluido como personal de la zona, sobre todo por la necesidad de este asesoramiento al tratarse de una zona de reciente

transformación en regadío. La presencia de personal técnico puede explicar la disminución de los costes energéticos de estas zonas, así como otras mejoras en su gestión.

Respecto a la eficiencia de producción, las producciones medias de los cultivos son similares, así como los precios percibidos por los agricultores, que contribuye a explicar la agrupación entre ambas sociedades. Asimismo, puesto que el manejo de los cultivos es similar en ambas sociedades, los costes asociados a los mismos muestran una tendencia parecida, con valores de los indicadores relacionados con el margen bruto por unidad de área y volumen de agua similares en ambas. Desde un punto de vista energético, se tratan de zonas con gastos energéticos parecidos, puesto que ambas cuentan con una profundidad media del nivel de agua

próxima a los 100 m, y con escasas diferencias en cuanto a la altura manométrica media tanto de las estaciones de bombeo como de las captaciones.

En ambas sociedades se realiza una adecuada gestión por parte de sus integrantes, con un mantenimiento periódico de las instalaciones de riego de la red, y, principalmente, de los equipos de impulsión, aspecto muy importante en zonas que utilizan recursos hídricos subterráneos, y que contribuye a disminuir los costes energéticos de estas sociedades. A pesar de ello, el mayor inconveniente en este tipo de sociedades es el manejo del riego que se realiza por parte de algunos agricultores de estas zonas, con aportes de agua a los cultivos superiores a las necesidades hídricas de los mismos, estimadas para riego deficitario, lo que incrementa el gasto de agua y energético de esta sociedad.

La tercera zona de riego localizado (SAT "D") muestra una menor similitud con las dos anteriores (Fig. 2). Esta sociedad, a pesar de la presencia de cultivos leñosos, tiene mayor heterogeneidad en la distribución de cultivos, con presencia importante de olivo y almendro. Se trata de la única zona con ausencia de estación de bombeo a la red, lo que disminuye, en general, el consumo energético de esta sociedad. El manejo de los cultivos es diferente al de otras zonas de riego localizado, puesto que esta sociedad dispone de limitación en el aporte de agua a $1000 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, siendo el aporte medio de agua por unidad de superficie inferior al resto de sociedades ($950 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). A diferencia de SAT "E" y SAT "F", en SAT "D" hay mayor experiencia en el manejo de cultivos leñosos, aspecto que puede explicar los menores costes asociados a los cultivos de esta zona. Por todo ello, se puede considerar que, entre las zonas de riego localizado, la eficiencia en el uso del agua y de la energía es algo superior en la SAT "D".

Grupo 2

En este grupo, formado por las zonas de riego por aspersión, destaca la mayor similitud existente entre las sociedades de riego a turnos de SAT "A" y SAT "C", así como las de riego a la demanda de SAT "B" y SAT "G" (Fig. 2).

Con una distribución de cultivos similar, la SAT "A" y la SAT "C" son las dos zonas con mayor volumen de agua de riego aportada por unidad de área, entre $6100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ y $6600 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. En comparación con el resto de sociedades de riego por aspersión, ambas muestran los menores costes energéticos por unidad de área. Este hecho se debe a que, en la SAT "A", un 35% del volumen que entra al sistema apenas precisa de gasto energético, puesto que procede de recursos hídricos superficiales, mientras que en el caso de la SAT "C" se relaciona con la escasa altura manométrica de las captaciones, inferior al resto de zonas. Asimismo, los costes energéticos no representan una participación tan elevada sobre los costes de manejo de sistema como en la SAT "B" y la SAT "G", y comprendida entre un 61% (SAT "A") y un 66% (SAT "C").

El valor total de la producción por unidad de área y volumen de agua, alcanza valores similares en ambas zonas, teniendo en cuenta la similar distribución de cultivos existente en estas sociedades.

El hecho de ser zonas con similares valores de potencia instalada por unidad de área y volumen, así como de energía consumida, contribuye a explicar la agrupación de estas sociedades. La energía real aportada al sistema en ambas es similar, como reflejan los valores del índice de carga energética.

La SAT "A" es una de las sociedades con un manejo más adecuado de la red de riego. En esta sociedad, se realiza un mantenimiento periódico de los equipos de impulsión, además de una distribución óptima de los turnos de riego, aspectos que contribuyen a la

mejora del uso del agua y de la energía. En el caso de la SAT "C", sucede de forma análoga a la SAT "A", si bien, en este caso apenas se realizan comprobaciones del funcionamiento de los equipos de impulsión, habiéndose detectado en ocasiones baja eficiencia en el funcionamiento de los mismos, lo que repercute en un incremento del coste energético de la sociedad.

En el caso de la SAT "B" y la SAT "G", ambas zonas muestran menores volúmenes de agua aportada a los cultivos que el resto de zonas de riego por aspersión, alrededor de 5700 m³ ha⁻¹. Estas sociedades presentan los mayores costes de manejo del sistema por unidad de área regada, relacionado con que se tratan de las dos zonas con mayores costes energéticos, incluso representan un elevado porcentaje de participación en los costes de manejo del sistema, del 71% (SAT "G") y 78% (SAT "B"). El encarecimiento de los costes energéticos se debe, principalmente, a que en la SAT "B" se encuentra la mayor profundidad media del agua y altura manométrica; en el caso de SAT "G", se relaciona con que es una sociedad de riego a la demanda con el accionamiento de dos bombas de velocidad variable durante toda la campaña, aspecto que encarece en gran medida los costes energéticos de la sociedad.

En relación a la gestión de la SAT "B" y SAT "G", ambas presentan un óptimo aprovechamiento de los recursos hídricos y energéticos. Ambas zonas realizan un adecuado mantenimiento de los equipos de impulsión, consecuencia de un mantenimiento periódico de las instalaciones de riego durante las campañas.

Propuesta de reducción del número de indicadores

Con el fin de profundizar en el uso de indicadores en zonas regables, en este apartado se establecen tres propuestas de reducción del número de indicadores manejados inicialmente. La reducción de los indicadores ha sido posible, principalmente, tras la aplicación del Análisis Cluster a los 79 indicadores seleccionados tras el Análisis de Componentes Principales. Así pues, se plantean tres propuestas, con un número de indicadores comprendido entre 19 (propuestas R1 y R2) y 14 (propuesta R3). Para desarrollar estas propuestas, además de tener en cuenta los indicadores que muestran cierta similitud entre ellos, se han considerado otros dos criterios de selección, basados en la facilidad de manejo y determinación de los indicadores, desde un punto de vista técnico y agronómico, y/o con menor grado de incertidumbre, aspecto que podría dificultar la fiabilidad de su determinación (Córcoles, 2009). Con estas propuestas, se pretende que los indicadores obtenidos sean de utilidad para aplicaciones futuras encaminadas a la caracterización de zonas regables mediante técnicas de "Benchmarking", y, sobre todo, para los gestores de cada sociedad.

Como ejemplo, en la Tabla nº 4, se presenta la propuesta R3, que es la más reduccionista, y que pretende ser una simplificación de las dos restantes (R1 y R2), con menor grado de incertidumbre y de más fácil determinación.

Tabla 4. Propuesta R3 de selección (14 indicadores)
 Table 4. Proposal R3 for reducing (14 indicators)

Campo	Indicadores
De rendimiento	Volumen de agua de riego que entra al sistema por unidad de área regada (V_{Tsr} , $m^3 ha^{-1}$)
Financieros	Costes de manejo del sistema por unidad de agua de riego suministrada (CMSVs, $€ m^{-3}$) Coste energético por unidad de área regada (CENSr, $€ ha^{-1}$) Coste energético por unidad de agua de riego suministrada (CENVs, $€ m^{-3}$) Gastos generales por unidad de área regada (GGSr, $€ ha^{-1}$) Gastos generales por unidad de agua de riego suministrada (GGVs, $€ m^{-3}$) Costes de personal relacionado con el riego por unidad de área regada (CPSr, $€ ha^{-1}$)
Eficiencia de la producción	Valor total anual de la producción agrícola por unidad de área regada (VPSr, $€ ha^{-1}$) Valor total anual de la producción agrícola por unidad de agua suministrada (VPVs, $€ m^{-3}$) Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de área regada (MBSr, $€ ha^{-1}$) Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de agua suministrada (MBVs, $€ m^{-3}$)
Energéticos	Potencia instalada medida por unidad de área regada (NtSr, $kW ha^{-1}$) Potencia instalada medida por unidad de agua de riego suministrado (NtVs, $kW m^{-3}$) Índice de carga energética (ICE, m)

Conclusiones

Los indicadores empleados, junto con la aplicación de las técnicas de "Benchmarking", permiten establecer las características de las Entidades de Riego en Común analizadas, así como las posibles diferencias existentes entre zonas con sistemas de cultivo, origen y diseño hidráulico, sistemas de riego, manejo y gestión, diferentes. El desarrollo de indicadores en zonas regables, principalmente, los energéticos, son una

herramienta de gran utilidad para sus gestores, facilitando su función.

La aplicación conjunta de las técnicas multivariantes de Análisis de Componentes Principales y Análisis Cluster presenta una elevada potencialidad, y de gran importancia como herramientas de ayuda a la toma de decisiones para determinar los indicadores más relevantes que contribuyan a la caracterización de la gestión en zonas regables.

Con el desarrollo de ambas herramientas, ha sido posible la reducción de la muestra ini-

cial de 151 indicadores, habiéndose planteado tres propuestas que simplifican el planteamiento inicial de indicadores. Entre las propuestas mencionadas, en dos de ellas (R1 y R2), que incorporan 19 indicadores cada una, se incluyen indicadores representativos de todos los tipos manejados: de rendimiento (1), financieros (6), de eficiencia de la producción (5), ambientales (4) y energéticos (3). La última propuesta (R3), la más reduccionista, en la que se recogen 14 indicadores, pretende estar cargada de menor grado de incertidumbre y ser de más fácil determinación que las dos anteriores, al excluir los indicadores de tipo ambiental (4), así como alguno de eficiencia de la producción (1).

De acuerdo con los resultados obtenidos en los principales indicadores de gestión y energéticos propuestos, se plantean algunas mejoras a realizar en algunas de las sociedades de estudio:

- El indicador de la eficiencia de la distribución de agua es un aspecto a considerar en las diferentes sociedades. Este indicador es fundamental en las zonas de riego localizado y, principalmente, en sociedades como SAT "E" y SAT "F", donde, si bien el consumo total de agua es menor en comparación con las zonas de riego por aspersión, es importante llevar a cabo un mayor control de la eficiencia de distribución en este tipo de redes, controlando, en la medida de lo posible, las pérdidas de agua que se producen por la limpieza de la estación de filtrado.
- En la medida de lo posible se debe controlar el aporte de agua de riego a los cultivos, sobre todo en algunas zonas de riego localizado (SAT "E", SAT "F"), donde se realizan aportes de agua ligeramente superiores a las necesidades hídricas del cultivo.

- De acuerdo con las características de cada zona de estudio, cuya fuente principal de agua son recursos subterráneos, es muy importante realizar revisiones periódicas de los equipos de captación (caudal descargado, potencia medida, factor de potencia, etc.). Este ha sido un aspecto a mejorar común en numerosas sociedades de estudio analizadas, de manera que no realizan revisiones periódicas de los equipos de impulsión. Este aspecto contribuye a encarecer los costes energéticos en estas sociedades, junto con el incremento del consumo energético que ello representa.
- En el caso de las sociedades con mayor presencia de cultivos herbáceos, se plantea la necesidad de mejorar aspectos relacionados con la eficiencia de producción de estos cultivos, como puede ser la implantación de cultivos más eficientes en la producción de biomasa y cosecha por unidad de agua consumida. Asimismo, la baja eficiencia productiva en algunas de estas sociedades se relaciona con los bajos precios percibidos por los agricultores, además del incremento de sus costes de producción.

Agradecimientos

El presente trabajo queda enmarcado dentro del proyecto "Evaluación y mejora del uso del agua en el regadío y su gestión mediante técnicas de Benchmarking", financiado por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha. Los autores agradecen el interés mostrado por cada una de las siete sociedades de riego objeto de estudio, con una participación activa de todos sus integrantes, cuya inestimable colaboración ha hecho posible el desarrollo de este trabajo.

Bibliografía

- Abadía R, Rocamora MC, Ruíz A, 2008. Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes. Vol. nº 10. Serie Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura. IDAE, Madrid, España.
- Alexander, P, 1999. Benchmarking of Australian Water Providers. Hydro Environmental. Australian National Committee on Irrigation and Drainage, Melbourne, Australia.
- Alhamed A, Lakshmvarahan S, Stensrund DJ, 2002. Cluster analysis of multimodel ensemble data from SAMEX. *Mon Wea. Rev.* 130: 226-256.
- Burt CM, Styles W, 1999. Modern Water Control and Management Practices in Irrigation. Impact on Performance. Water Reports 19. FAO, Rome, Italy.
- Córcoles JI, de Juan JA, Moreno MA, Charco JR, Ortega JF, Tarjuelo JM, 2007. Aplicaciones informáticas para el manejo de indicadores de gestión en Castilla-La Mancha. IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería, 4-6 de septiembre, Albacete, España.
- Córcoles JI, Moreno MA, Moraleda D, Cuesta A, Tarjuelo JM, 2008. Auditorías energéticas en Comunidades de Regantes de Castilla-La Mancha. XXVI Congreso Nacional de Riegos, 24-26 de junio, Huesca, España.
- Córcoles JI, 2009. La gestión del agua y la energía en el regadío mediante técnicas de "Benchmarking". Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España.
- Haan CT, 2002. *Statistical Methods in Hydrology*. 2nd ed. Iowa State University Press, Ames, IO, USA.
- Malano H, Burton M, 2001. Guidelines for Benchmarking Performance in the Irrigation and Drainage Sector. International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID), Rome, Italy.
- Malano H, Burton M, Makin I, 2004. Benchmarking performance in the irrigation and drainage sector: a tool for change. *Irrig. Drain.* 53: 119-133.
- Moraleda DA, Moreno MA, Córcoles JI, Cuesta A, Tarjuelo JM, 2008. Medidas de mejoras energéticas en las instalaciones de Comunidades de Regantes de Castilla-La Mancha. XXVI Congreso Nacional de Riegos, 24-26 de junio, Huesca, España.
- Moreno MA, Pelayo J, Córcoles JI, Planells P, Carrión P, Tarjuelo JM, 2007. Model for analysis of energy efficiency at pumping stations (MAEEB). 10th Inter-Regional Conference on Water and Environment, October 17-20, New Delhi, India.
- Rodríguez JA, Camacho E, López R, Pérez L, 2008. Benchmarking and multivariate data analysis techniques for improving the efficiency of irrigation districts: An application in Spain. *Agric. Syst.* 96: 250-259.
- Romero R, Zúñica L, 2005. Métodos estadísticos en ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Unal Y, Kindap T, Karaca M, 2003. Redefining the climate zones of Turkey using Cluster Analysis. *Int. J. Climatol.* 23: 1045-1055.
- USDA-NCRS, 2006. Keys to Soil Taxonomy. 10th ed., United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Services, Washington D.C., WA, USA.
- WRB, 1999. World Soil Resources Reports. World Reference Base for Soils Resources. International Society of Soil Science. International Soil Reference and Information Centre and FAO.

(Aceptado para publicación el 28 de abril de 2010)

Anejo 1. Indicadores de gestión y energéticos

Tabla 1. Indicadores de gestión. De rendimiento
 Table 1. Performance indicators. System Operation

Indicador	
Volumen de agua de riego que entra al sistema (V_{Tr} , m^3)	Eficiencia de distribución de agua en la red (ED, %)
Volumen de agua de riego suministrada a usuarios (V_s , m^3)	Aporte relativo de agua anual (ARAA, adimensional)
Volumen total de agua que entra al sistema (V_{TT} , m^3)	Aporte relativo anual de riego (ARAR, adimensional)
Volumen de agua de riego que entra al sistema por unidad de área regable (V_{T5a} , $m^3 ha^{-1}$)	Capacidad de distribución de agua (Cd, adimensional)
Volumen de agua de riego que entra al sistema por unidad de área regada (V_{TSr} , $m^3 ha^{-1}$)	

Tabla 2. Indicadores de gestión. Financieros
 Table 2. Performance indicators. Financial

Indicador	
Proporción de recuperación de los costes de explotación (RC, %)	Personal relacionado con el riego por unidad de área regada (NPSr, personas ha^{-1})
Proporción de coste de mantenimiento y retornos brutos (CMR, %)	Retornos medios por unidad de agua de riego que entra al sistema (RbV_{Tr} , $€ m^{-3}$)
Costes de manejo del sistema por unidad de área regable ($CMSSa$, $€ ha^{-1}$)	Retornos medios por unidad de agua de riego suministrada a usuarios ($RbVs$, $€ m^{-3}$)
Costes de manejo del sistema por unidad de área regada ($CMSSr$, $€ ha^{-1}$)	Costes de manejo del sistema por unidad de agua de riego que entra al sistema ($CMSV_{Tr}$, $€ m^{-3}$)
Coste total de personal relacionado con el riego (CTp , $€ persona^{-1}$)	Costes de manejo del sistema por unidad de agua de riego suministrada a usuarios ($CMSVs$, $€ m^{-3}$)
Eficiencia en el cobro (EC, %)	Participación de los costes de mantenimiento en los costes de manejo del sistema (CM_{CMS} , %)
Personal relacionado con el riego por unidad de área regable (NPSa, personas ha^{-1})	Relación de costes de gestión de la sociedad y costes de manejo del sistema (CGS_{CMS} , %)
Coste energético por unidad de área regable ($CENSa$, $€ ha^{-1}$)	Proporción de costes de mantenimiento y gastos generales (CM_{GG} , %)
Coste energético por unidad de área regada ($CENSr$, $€ ha^{-1}$)	Relación de costes de gestión de la sociedad y gastos generales (CGS_{GG} , %)
Coste energético por unidad de agua de riego que entra al sistema ($CENV_{Tr}$, $€ m^{-3}$)	Costes de personal relacionado con el riego por unidad de área regable ($CPSa$, $€ ha^{-1}$)

Tabla 2. Indicadores de gestión. Financieros (continuación)
 Table 2. Performance indicators. Financial (continuation)

	Indicador
Coste energético por unidad de agua de riego suministrada a usuarios (CENVs, € m ⁻³)	Costes de personal relacionado con el riego por unidad de área regada (CPSr, € ha ⁻¹)
Relación de costes energéticos y costes de manejo del sistema (CEN _{CMSr} %)	Coste de personal relacionado con el riego por unidad de agua de riego que entra al sistema (CPV _{Tr} , € m ⁻³)
Gastos generales por unidad de área regable (GGSa, € ha ⁻¹)	Coste de personal relacionado con el riego por unidad de agua de riego suministrada a usuarios (CPVs, € m ⁻³)
Gastos generales por unidad de área regada (GGSr, € ha ⁻¹)	Relación de costes de personal relacionado con el riego y costes de manejo de sistema (CP _{CMSr} %)
Gastos generales por unidad de agua de riego que entra al sistema (GGV _{Tr} , € m ⁻³)	Costes de la JCR por unidad de agua de riego que entra al sistema (CJCV _{Tr} , € m ⁻³)
Gastos generales por unidad de agua de riego suministrada a usuarios (GGVs, € m ⁻³)	Costes de la JCR por unidad de agua de riego suministrada a usuarios (CJCVs, € m ⁻³)
Relación de gastos generales y costes de manejo del sistema (GG _{CMSr} %)	Relación de costes de la JCR y costes de manejo del sistema (CJC _{CMSr} %)
Participación del coste de personal relacionado con el riego en gastos generales (CP _{GG} %)	Participación de otros costes diversos en costes de manejo del sistema (OC _{CMSr} %)

Tabla 3. Indicadores de gestión. Eficiencia de la producción
 Table 3. Performance indicators. Productive efficiency

	Indicador
Producción bruta total (Pb, t)	Valor total anual de la producción agrícola por unidad de agua suministrada a usuarios (VPVs, € m ⁻³)
Valor total anual de la producción agrícola (VP, €)	Valor total anual de la producción agrícola por unidad de agua total que entra al sistema (VPV _{TT} , € m ⁻³)
Valor total anual de la producción agrícola por unidad de área regable (VPSa, € ha ⁻¹)	Valor total anual de la producción agrícola por unidad de agua consumida por el cultivo (VP _{ETc} , € m ⁻³)
Valor total anual de la producción agrícola por unidad de área regada (VPSr, € ha ⁻¹)	Valor total anual de la producción agrícola por unidad de agua de riego demandada por el cultivo (VPNb, € m ⁻³)
Valor total anual de la producción agrícola por unidad de agua de riego que entra al sistema (VPV _T , € m ⁻³)	Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de agua suministrada a usuarios (MBVs, € m ⁻³)
Margen bruto total de la producción agrícola (MB, €)	Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de agua total que entra al sistema (MBV _{TT} , € m ⁻³)
Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de área regable (MBSa, € ha ⁻¹)	Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de agua consumida por el cultivo (MB _{ETc} , € m ⁻³)
Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de área regada (MBSr, € ha ⁻¹)	Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de agua de riego demandada por el cultivo (MBNb, € m ⁻³)
Margen bruto total de la producción agrícola por unidad de agua de riego que entra al sistema (MBV _T , € m ⁻³)	Margen neto total de la producción agrícola por unidad de agua suministrada a usuarios (MNVs, € m ⁻³)
Margen neto total de la producción agrícola (MN, €)	Margen neto total de la producción agrícola por unidad de agua total que entra al sistema (MNV _{TT} , € m ⁻³)
Margen neto total de la producción agrícola por unidad de área regable (MNSa, € ha ⁻¹)	Margen neto total de la producción agrícola por unidad de agua consumida por el cultivo (MN _{ETc} , € m ⁻³)
Margen neto total de la producción agrícola por unidad de área regada (MNSr, € ha ⁻¹)	Margen neto total de la producción agrícola por unidad de agua de riego demandada por el cultivo (MNNb, € m ⁻³)
Margen neto total de la producción agrícola por unidad de agua de riego que entra al sistema (MNV _T , € m ⁻³)	

Tabla 4. Indicadores de gestión. Ambientales
 Table 4. Performance indicators. Environmental performance

Indicador	
Profundidad media del nivel del agua (PA, m)	Concentración de Nitratos (NO_3^- , mg l^{-1})
Salinidad del agua de riego (SI, dS m^{-1})	Concentración de Cloruros (Cl^- , mg l^{-1})
pH (adimensional)	Contenido total de sales (CTS, mg l^{-1})
Concentración de Calcio (Ca^{2+} , mg l^{-1}) adimensional)	Relación de absorción de sodio (RAS,
Concentración de Magnesio (Mg^{2+} , mg l^{-1})	Carbonato sódico residual (CSR, meq l^{-1})
Concentración de Sodio (Na^+ , mg l^{-1})	Relación de sodio (R_{Na} , meq l^{-1})
Concentración de Potasio (K^+ , mg l^{-1})	Dureza (d, ° GHF)
Concentración de Sulfato (SO_4^{2-} , mg l^{-1})	Coefficiente alcalimétrico (K, adimensional)
Concentración de Carbonatos y Bicarbonatos (CO_3^{2-} , HCO_3^- , mg l^{-1})	Relación de absorción de sodio ajustado (RASaj, adimensional)
Norma Riverside	Norma Greene
Norma Wilcox	Norma FAO
Unidad fertilizante de nitrógeno por unidad de área regable (UFNSa, UFN ha^{-1})	Unidad fertilizante de fósforo por unidad de agua de riego suministrada a usuarios ($\text{UFP}_2\text{O}_5\text{Vs}$, $\text{UFP}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$)
Unidad fertilizante de nitrógeno por unidad de área regada (UFNSr, UFN ha^{-1})	Unidad fertilizante de fósforo por unidad de agua consumida por el cultivo ($\text{UFP}_2\text{O}_{5\text{ETC}}$, $\text{UFP}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$)
Unidad fertilizante de nitrógeno por unidad de agua total que entra al sistema (UFNV_{TT} , UFN m^{-3})	Unidad fertilizante de fósforo por unidad de agua de riego demandada por el cultivo ($\text{UFP}_2\text{O}_5\text{Nb}$, $\text{UFP}_2\text{O}_5 \text{ m}^{-3}$)
Unidad fertilizante de nitrógeno por unidad de agua de riego que entra al sistema (UFNV_{T} , UFN m^{-3})	Unidad fertilizante de potasio por unidad de área regable (UFK_2OSa , $\text{UFK}_2\text{O ha}^{-1}$)
Unidad fertilizante de nitrógeno por unidad de agua de riego suministrada a usuarios (UFNVs , UFN m^{-3})	Unidad fertilizante de potasio por unidad de área regada (UFK_2OSr , $\text{UFK}_2\text{O ha}^{-1}$)
Unidad fertilizante de nitrógeno por unidad de agua consumida por el cultivo (UFN_{ETC} , UFN m^{-3})	Unidad fertilizante de potasio por unidad de agua total que entra al sistema ($\text{UFK}_2\text{OV}_{\text{TT}}$, $\text{UFK}_2\text{O m}^{-3}$)
Unidad fertilizante de nitrógeno por unidad de agua de riego demandada por el cultivo (UFNNb , UFN m^{-3})	Unidad fertilizante de potasio por unidad de agua de riego que entra al sistema ($\text{UFK}_2\text{OV}_{\text{T}}$, $\text{UFK}_2\text{O m}^{-3}$)
Unidad fertilizante de fósforo por unidad de área regable ($\text{UFP}_2\text{O}_5\text{Sa}$, $\text{UFP}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$)	Unidad fertilizante de potasio por unidad de agua de riego suministrada a usuarios (UFK_2OVs , $\text{UFK}_2\text{O m}^{-3}$)

Tabla 4. Indicadores de gestión. Ambientales (continuación)
 Table 4. Performance indicators. Environmental performance (continuation)

Indicador	
Unidad fertilizante de fósforo por unidad de área regada (UFP_2O_5Sr , $UFP_2O_5 \text{ ha}^{-1}$)	Unidad fertilizante de potasio por unidad de agua consumida por el cultivo (UFK_2O_{ETc} , $UFK_2O \text{ m}^{-3}$)
Munidad fertilizante de fósforo por unidad de agua total que entra al sistema ($UFP_2O_5V_{TT}$, $UFP_2O_5 \text{ m}^{-3}$)	Unidad fertilizante de potasio por unidad de agua de riego demandada por el cultivo (UFK_2ONb , $UFK_2O \text{ m}^{-3}$)
Unidad fertilizante de fósforo por unidad de agua de riego que entra al sistema ($UFP_2O_5V_r$, $UFP_2O_5 \text{ m}^{-3}$)	

Tabla 5. Indicadores energéticos
 Table 5. Energy indicators

Campo	Indicador
Descriptivos	Potencia contratada (N_c , kW)
	Potencia instalada teórica (N_i , kW)
	Potencia instalada medida (N_t , kW)
	Potencia hidráulica (N_h , kW)
	Energía activa total consumida (E_{ac} , kWh)
	Energía reactiva total consumida (E_r , kVARh)
	Factor de potencia (FP, adimensional)
	Coseno de ϕ ($\cos \phi$, adimensional)
Disponibilidad de condensadores	
De funcionamiento	Grado de ajuste a la potencia contratada en la estación de bombeo (GA, %)
	Potencia contratada por unidad de área regable (N_{cSa} , kW ha^{-1})
	Potencia contratada por unidad de área regada (N_{cSr} , kW ha^{-1})
	Potencia instalada medida por unidad de área regable (N_{tSa} , kW ha^{-1})
	Potencia instalada medida por unidad de área regada (N_{tSr} , kW ha^{-1})
	Potencia hidráulica por unidad de área regable (N_{hSa} , kW ha^{-1})
	Potencia hidráulica por unidad de área regada (N_{hSr} , kW ha^{-1})
	Energía activa total consumida por unidad de área regable (E_{acSa} , kWh ha^{-1})
	Energía activa total consumida por unidad de área regada (E_{acSr} , kWh ha^{-1})
	Potencia instalada medida por volumen de agua de riego que entra al sistema (N_{tV_r} , kW m^{-3})
	Potencia instalada medida por volumen de agua de riego suministrado a usuarios (N_{tVs} , kW m^{-3})
Potencia hidráulica por volumen de agua de riego que entra al sistema (N_{hV_r} , kW m^{-3})	

Tabla 5. Indicadores energéticos (continuación)
 Table 5. Energy indicators (continuation)

Campo	Indicador
De funcionamiento	Potencia hidráulica por volumen de agua de riego suministrado a usuarios (NhVs, kW m ⁻³) Energía activa total consumida por volumen de agua de riego que entra al sistema (EacV _T , kWh m ⁻³) Energía activa total consumida por volumen de agua de riego suministrado a usuarios (EacVs, kWh m ⁻³) Índice de dependencia energética (IDE, %) Índice de carga energética (ICE, m) Frecuencia de la distribución de caudales en la estación de bombeo (Fi, adimensional)
De eficiencia	Rendimiento medio de la estación de bombeo (EEBr, %) Potencia media absorbida en la estación de bombeo durante la campaña (Ntc, kW) Eficiencia energética de los grupos de impulsión (EEB, %) Eficiencia del suministro energético al sistema de distribución (ESE, %) Eficiencia energética general de la sociedad (EEG, %)
De calidad	Continuidad de suministro (nº y duración) Picos de tensión en la red (nº) Generación de armónicos (%) Forma de onda (adimensional) Evolución del Factor de potencia (adimensional)