

COMPORTAMIENTO DE UNA RED COLECTIVA DE RIEGO A LA DEMANDA SEGÚN LA PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN PARCELA

F. A. Lima¹, J. I. Córcoles², A. Martínez-Romero³, J. M. Tarjuelo⁴

RESUMO: El objetivo del trabajo es analizar el funcionamiento de una red colectiva de riego a la demanda, mediante una herramienta de simulación, basada en un control de la programación de riego en parcela y en el establecimiento de la hora de inicio del riego en parcela que minimice el coste energético en la estación de bombeo de la red. La metodología propuesta ha sido aplicada en la red de riego a la demanda del sector I de la zona regable de Tarazona de La Mancha (Albacete, España). Durante la campaña de estudio 2015 se han instalado equipos de medida de parámetros hidráulicos y eléctricos para determinar la actual situación de la red. Para realizar las simulaciones del comportamiento de la red, se ha desarrollado una herramienta en MATLAB[®] en combinación con el motor de cálculo de EPANET. Como estrategias analizadas, se ha utilizado de distintos manejos de altura de presión (variable y fija) en cabecera y distintas estrategias de riego en parcela (sin déficit y con déficit). Con la herramienta de simulación, es posible realizar una distribución de tomas abiertas que garantiza un adecuado caudal y presión de suministro en la red, principalmente en aquellas etapas de alta demanda de riego.

PALABRAS-CLAVE: estación de bombeo, herramienta de simulación, apertura de tomas, mínimo coste energético

BEHAVIOUR OF AN ON-DEMAND IRRIGATION NETWORK BASED ON IRRIGATION PROGRAMS IN PLOT

ABSTRACT: The objective of this work is to analyze the operation of a collective network of

¹ Doctorando, Universidad Castilla-La Mancha (UCLM), Centro Regional de Estudios del Agua, Albacete, España. Email: aldiel_metal@hotmail.com

² Dr. Ingeniero Agrónomo, Profesor Contratado Temporal EIIAB, Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos, UCLM, Albacete, España. Email: juanignacio.corcoles@uclm.es

³ Dr. Ingeniero Agrónomo, Profesor Asociado EIIAB, Departamento de Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos, UCLM, Albacete, España. Email: angel.mromero@uclm.es

⁴ Dr. Ingeniero Agrónomo, Profesor Catedrático de UCLM. Centro Regional de Estudios del Agua. Albacete, España. Email: jose.tarjuelo@uclm.es

irrigation to the demand, by means of a simulation tool, based on a control of the irrigation schedule in plot and in the establishment of the time of beginning of the irrigation in plot that minimizes the energy cost in the pumping station of the network. The proposed methodology has been applied in the irrigation network to the demand of sector I of the irrigated area of Tarazona de La Mancha (Albacete, Spain). During irrigation seasons 2015 equipment has been installed to measure hydraulic and electrical parameters. To perform the simulations of the behavior of the network, a tool has been developed in MATLAB® along with EPANET to aid decision making for the management of collective irrigation networks. As strategies analyzed, different management of pressure head (variable and fixed) and different strategies of irrigation in plot (without deficit and deficit) have been used. With the simulation tool, it is possible to perform a distribution of open nodes that guarantees adequate flow and supply pressure to the network, especially in those stages of high irrigation demand.

KEYWORDS: pumping station, simulation tool, opening of shots, minimum energy cost

INTRODUCCIÓN

En la agricultura de regadío, la energía ligada al agua tiene gran importancia, y principalmente en aquellas zonas que utilizan recursos hídricos subterráneos, por los elevados costes energéticos de extracción del agua y su distribución con sistemas de riego a presión. En estos sistemas, la energía requerida es utilizada para la captación, transporte y aplicación del agua a fin de abastecer las necesidades de los cultivos e incrementar la productividad de los mismos. Por tanto, la demanda energética del sistema varía en función de la energía requerida en cada uno de esos procesos (Corominas, 2010).

La falta de conocimiento acerca de la relación existente entre el agua y el uso de la energía, puede implicar mayores gastos energéticos (Córcoles, 2009). Este aspecto se torna imprescindible en la gestión de zonas con redes colectivas de riego presurizadas, con distintas alternativas de manejo, tales como el riego por turnos o a la demanda. En el caso de redes de riego a la demanda, si los agricultores no realizan una adecuada programación del riego se puede producir un uso ineficiente del agua (Moreno, et al., 2010), así como un aumento significativo en el consumo energético (Rodríguez Díaz, et al., 2009).

El objetivo del trabajo es desarrollar una herramienta de simulación para la gestión de una zona colectiva de riego, basada en un control de la programación de riego en parcela y en el establecimiento de la hora de inicio del riego en parcela que minimice el coste energético en la estación de bombeo de la red.

MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología propuesta ha sido aplicada en una Comunidad de Regantes (CCRR) en Tarazona de La Mancha (Albacete, España). La zona regable de 1044 ha, está compuesta por dos redes colectivas de riego a la demanda independientes (sector I y sector II). En el sector de estudio (sector I), el agua se distribuye mediante un grupo de rebombeo compuesto por 9 bombas iguales (140 CV por bomba) conectadas en paralelo, dos de ellas con variador de velocidad. La estación de bombeo funciona con regulación manométrica en cabecera, con presión fija alrededor de 51 m.

Durante la campaña 2015, se han instalado equipos para controlar parámetros hidráulicos y eléctricos de la red y caracterizar su funcionamiento. Respecto a los parámetros hidráulicos, se ha controlado la presión de modo continuo en distintos niveles, tanto a la salida de la estación de bombeo, en puntos estratégicos de la red y en parcelas de seguimiento de los cultivos. En todos los casos se ha realizado un registro continuo de la información, utilizando transductores de presión (Druck, Leicester, UK), con un rango de medida de 0 a 6 bar, conectados a un “datalogger” (Dickson, Addison, In, USA) para el registro de los datos, y una fuente de alimentación externa, compuesta por una batería de 12 V.

En el caso de los parámetros eléctricos, se instaló un analizador de redes, modelo QNA-412 (Circutor, España), situado entre el transformador de media a baja tensión y la entrada a la estación de bombeo de la red. Con este equipo ha sido posible determinar los principales parámetros eléctricos tales como tensión (V), intensidad de corriente (A), potencia activa y reactiva (kW), energía activa y reactiva (kWh), y frecuencia (Hz), entre otros. Además de la monitorización continua de la estación de bombeo, en determinados periodos de la campaña de riegos se ha medido el consumo energético de cada una de las bombas de forma individualizada. Para ello, se ha utilizado un analizador de redes modelo AR5 (Circutor, España) tanto en las bombas accionadas con variadores de velocidad como en las bombas fijas. En cada una de las bombas que componen la estación de bombeo se ha determinado el caudal descargado utilizando un caudalímetro de

ultrasonidos (PANAMETRICS® PT878), de forma sincronizada con el analizador.

Para realizar las simulaciones se ha desarrollado una herramienta programada en MATLAB® (Pratap, 2010) que utiliza el motor de cálculo de EPANET® (Rossman, 2000), implementado en la red del sector I, previamente calibrada (Moreno et al., 2007). Según los calendarios de riego establecidos por cultivo y parcela, que determinan el tiempo de riego, la herramienta simula en periodos de una semana, los días y las horas de apertura y cierre de cada toma de la red.

A partir de la distribución de los cultivos en parcela y con los datos climáticos registrados en una estación agroclimática completa (SiAR, 2016), se ha determinado los calendarios de riegos de los cultivos implantados en la zona, planteando dos programaciones de manejo de riego en parcela que demanden distinto volumen de agua, una sin déficit y otra con déficit hídrico en los cultivos. Los calendarios de riegos se han establecido utilizando el módulo de programación de riegos del programa MOPECO (Modelo de Optimización Económica del riego) (Dominguez et al., 2012), que aplica la metodología FAO (Allen et al., 1998).

En cada semana de estudio, para poder realizar la distribución de tomas abiertas en los diferentes días de la semana (lunes a viernes), se ha tomado como base o referencia, la hora de inicio del riego en cada parcela durante el periodo del fin de semana (sábado y domingo). Para determinar la hora de inicio del riego en cada una de las parcelas durante el fin de semana, con la herramienta de simulación se genera un escenario aleatorio de apertura de tomas. Dentro de los escenarios generados se ha seleccionado aquel escenario que de menor coste energético en la estación de bombeo. Para ello, es necesario conocer el caudal y la presión demandados a la estación de bombeo, en la cabecera de la red implementada en EPANET®, además del consumo energético.

Se ha analizado el comportamiento de la red utilizando la herramienta descrita anteriormente para diferentes estrategias de funcionamiento, a partir de la información recogida durante la campaña 2015. Una de esas estrategias está relacionada con el tipo de regulación de la presión en cabecera (fija o variable) y otra en relación al manejo de la programación de riego de los cultivos (riego con déficit y sin déficit hídrico).

En relación a la presión en cabecera, una de las estrategias de manejo, que coincide con la actualmente seguida por los gestores de la red, es establecer una regulación manométrica, tomando una presión de trabajo constante en cabecera de 52 m, que coincide con las medias de las presiones registradas por los transductores de presión en la campaña experimental, y que fueron de 51,5

(2015). En la otra estrategia de regulación se considera una presión variable en cabecera según el caudal demandado, para garantizar una presión mínima de 35 m en la toma más desfavorable de la red, teniendo en cuenta que todas las tomas tienen un limitador caudal ajustado a su dotación. En relación al manejo del riego, se han utilizado los calendarios de riegos de los principales cultivos de la zona sin déficit y con déficit (ajo, almendro, cebada, cebolla, guisante, maíz, trigo y vid).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 1 muestra la distribución mensual del volumen de agua (m^3) consumido en la red durante la campaña 2015 a partir de los datos facilitados por los gestores de la zona regable y de los valores de precipitación mensual acumulada. Para el año 2015 (Figura 1), el mes de mayo ha sido el mes con mayor consumo hídrico (351246 m^3) un 26,6% del consumo total de la campaña, mientras que el de menor consumo es el mes de febrero, que representa menos de 1% del total de la campaña 2015. El consumo en 2015 fue de 1318827 m^3 .

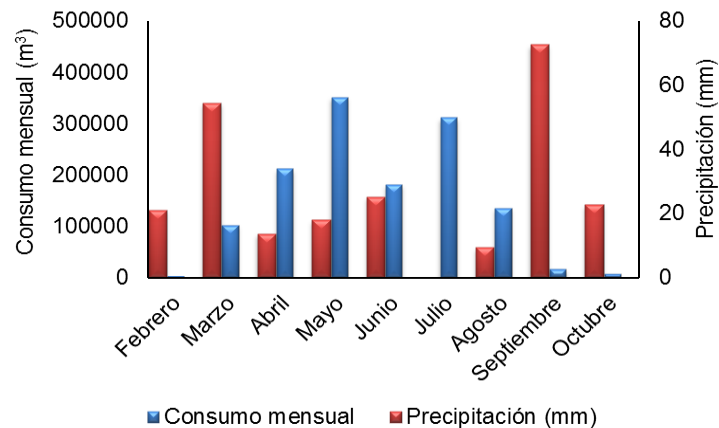


Figura 1. Volúmenes mensuales consumidos por el sector I y precipitación acumulada en el año 2015

En la Figura 2 se muestra la evolución del consumo energético en la estación de bombeo registrados por el analizador de redes (QNA) en dos momentos de la campaña 2015, correspondiente a la etapa de menor (16 hasta 22 de marzo) (Figura 2a) y mayor (13 hasta 19 de julio) demanda de agua (Figura 2b).

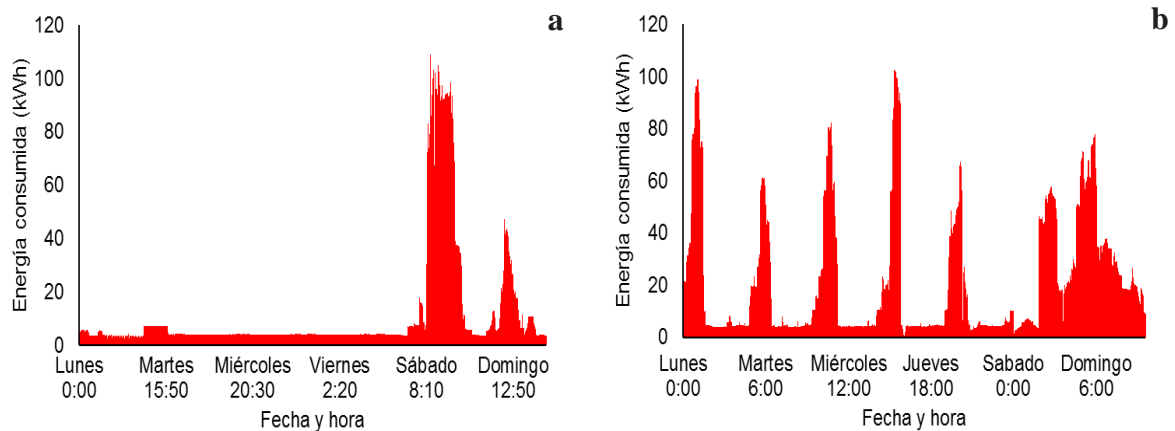


Figura 2. Consumo energético para una semana del mes de marzo (a) y julio (b) de 2015.

En la Figura 2a, se observa que el consumo se concentra en el fin de semana (sábado y domingo), con pico de 108 kWh registrado en la mañana de sábado (9:30 horas) y siendo muy escaso o prácticamente inexistente en el resto de días de la semana. En este mes, la necesidad de riego para los cultivos es baja, debido a las condiciones climáticas y la fase fenológica de desarrollo en la que se encuentran los cultivos implantados (principalmente cereales de invierno).

Para los meses considerados de alta demanda de riego, como el caso de julio (Figura 2b), durante una semana (del 13 al 19 de julio de 2015), se observan picos de consumo energético para todos los días. En esta fecha la demanda hídrica de los cultivos implantados es alta, y se traduce en un aumento de la frecuencia de riegos, siendo necesario regar también durante el resto de la semana. En esta semana, el pico se registra en jueves (102 kWh). Este hecho está relacionado con la limitación de la JER (8 horas), que conlleva a una concentración de tomas mayor en un intervalo menor de tiempo, comparado con la JER del fin de semana (48 horas).

En la Figura 3 se muestra la distribución de la presión en cabecera (m) para una semana de alta demanda (4 de mayo hasta 10 de mayo) del año 2015. En esta semana se observa una elevada variación de la presión (14,8%), posiblemente por la mayor concentración de tomas abiertas en estos períodos. Las bajadas de presión ocurren en intervalos de en torno a 10 y como máximo 20 minutos, que es el tiempo necesario para que el sistema detecte las caídas y active el funcionamiento de la siguiente bomba.

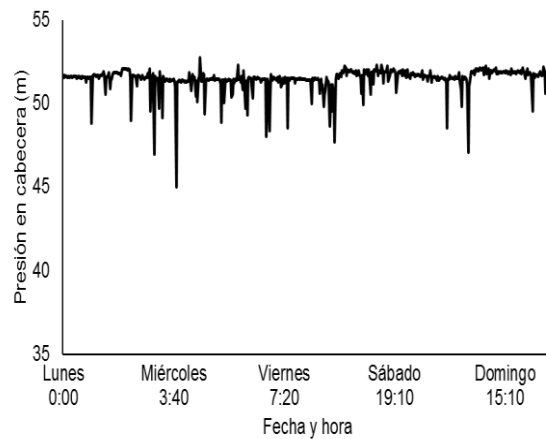


Figura 3. Presión en cabecera para una semana de alta demanda del año 2015.

A partir de las simulaciones realizadas por la herramienta se muestran los resultados de una semana considerada de alta demanda (semana de 18 de mayo hasta 24 de mayo) del año 2015, para demostrar el comportamiento de la red tras las simulaciones. En la Figura 4 se muestra la evolución del caudal simulado para una estrategia de riego sin déficit (Figura 4a) y con déficit (Figura 4b).

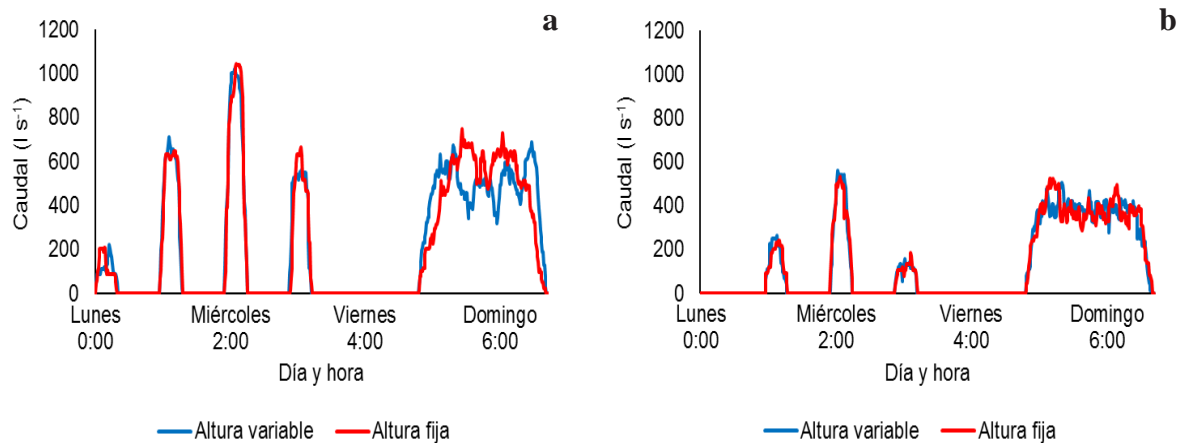


Figura 4. Evolución de los caudales simulados para una semana en período de alta demanda (sin déficit (a) y con déficit (b)), para el año 2015.

Al analizar la evolución en función de los manejos de altura en cabecera, se observa que, independientemente de la estrategia de riegos, los caudales presentan en general una similitud, excepto en el caso del sábado y domingo para la estrategia de riego sin déficit (Figura 4a). La evolución en el caso de los riegos sin déficit presenta mayores valores, con pico 1045 l s^{-1} frente a los 558 l s^{-1} en el caso de los riegos con déficit. Los picos se producen para un día entre semana (miércoles). Las mayores necesidades de agua de riego en estos períodos y las horas disponibles

para el riego (JER 8 horas), resultan en un mayor caudal suministrado en la red, principalmente en los casos de riegos sin déficit.

En relación al consumo energético (kWh), en la Figura 5, se muestra la evolución semanal con estrategia de riego sin déficit y deficitario (Figura 5a y 5b, respectivamente).

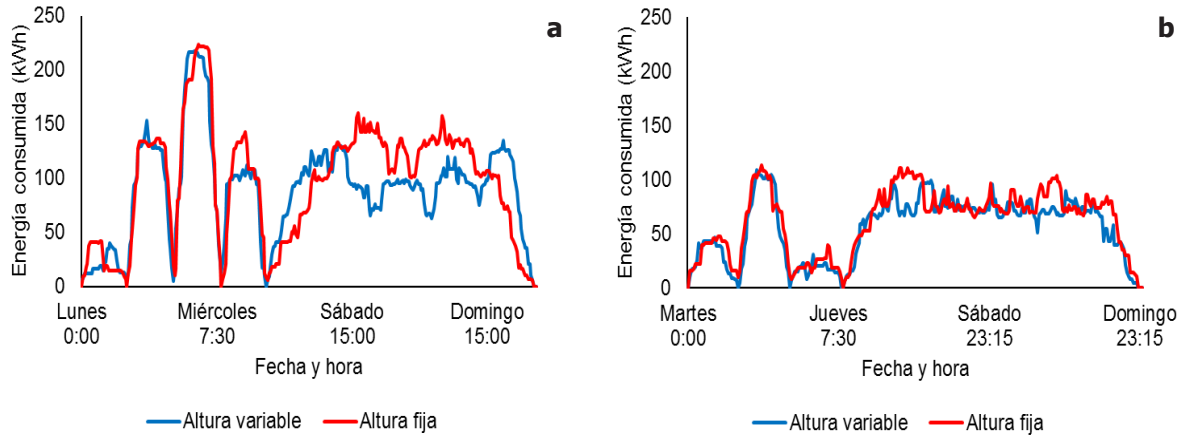


Figura 5. Evolución del consumo energético para una semana de alta demanda (sin riego deficitario (a) y con riego deficitario (b), para el año 2015.

Así como en el caso de los caudales, los consumos energéticos en riego con déficit suelen ser superiores en las estrategias de riego sin déficit. Para esta semana, el consumo energético supera los 224 kWh (Figura 5a) en riegos sin déficit y 113 kWh (Figura 5b) en los riegos deficitarios. En todos los casos, los valores más elevados de consumo de energía se registran cuando se utiliza una regulación de altura fija en cabecera.

En la Figura 6, se muestra los costes diarios de la energía consumida para la semana simulada. Los mayores costes se concentran en el período del fin de semana. En el sábado se registra un coste de 486 € y de 479 € en el domingo, en ambos casos utilizando una estrategia de riego deficitario con altura fija. La estrategia más económica se muestra al utilizar un manejo de altura variable con riego deficitario. Entre los días de la semana, el miércoles se presenta como el día de mayor coste (260 €), utilizando la estrategia de altura fija y riego sin déficit.

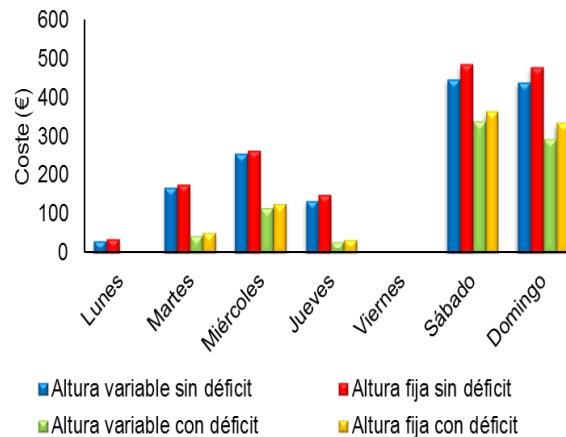


Figura 6. Distribución de los costes simulados de energía eléctrica durante la semana de alta demanda.

CONCLUSIONES

La elevada concentración de caudales repercute en la disminución de la presión real en cabecera, al tratarse de una regulación manométrica y superar el límite de caudal. Esta bajada de presión puede repercutir en la calidad del riego en las parcelas en esos momentos, tanto en lo relativo a la uniformidad de reparto del agua como en la correcta cuantificación del agua aplicada con el riego.

Con la herramienta de simulación, es posible realizar una distribución de tomas abiertas permitiendo una distribución de caudales en la red que garantiza un adecuado caudal y presión de suministro a la misma, principalmente en aquellas etapas de alta demanda de riego.

La utilización de altura de presión fija en cabecera de 52 m, conduce a un mayor coste energético si se compara con la altura variable en cabecera. No obstante, la complejidad de este tipo de manejo de altura variable puede ser desfavorable, ya que es necesario determinar los nudos restrictivos en cada momento, así como la evolución de presión en tiempo real de esos nudos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO. Rome, Italy. 1998.

CÓRCOLES, J.I. La gestión del agua y la energía en el regadío mediante técnicas de “Benchmarking”. 2009. Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. Universidad Castilla-La Mancha. Albacete, España.

COROMINAS, J. Agua y energía en el riego en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería del Agua*, V. 17, n3, p.219–233, 2010.

DOMÍNGUEZ, A.; MARTÍNEZ, R.S.; DE JUAN, J.A.; MARTÍNEZ-ROMERO, A.; TARJUELO, J.M. Simulation of maize crop behavior under deficit irrigation using MOPECO model in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. V.107, p.42– 53, 2012a.

MORENO, M.A.; CÓRCOLES, J.I.; TARJUELO, J.M.; ORTEGA, J.F. Energy efficiency of pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. *Biosystems Engineering*. V.107, p. 349-363, 2010.

MORENO, M. A., PLANELLS, P., ORTEGA, J. F., TARJUELO, J. New methodology to evaluate flow rates in on-demand irrigation networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. V.133, n.4, p. 298-306, 2007.

PRATAP, R. 2010. *Getting Started with Matlab. A Quick Introduction for Scientist and Engineers*. Oxford University Press, USA.

RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; LÓPEZ LUQUE, R.; CARRILLO COBO, M. T.; MONTESINOS, P.; CAMACHO POYATO, E. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosystems Engineering*. V.104, n.4, p. 552-561, 2009.

ROSSMAN, L. A. *EPANET 2, users’ manual*. Water supply and Water Resources Division. National Risk Management Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, 2000.

SIAR. Consulta de datos meteorológicos. Servicio Integral de Asesoramiento al Regante de Castilla-La Mancha. Albacete, España. 2016. <http://crea.uclm.es/siar/datmeteo/>. Acceso en 07 de octubre de 2016.