

# Seguridad en el suministro del agua y energía limpia: una propuesta de proyecto para los regantes del río Torrox

• Alberto J. Perea-Moreno\* •  
*Universidad de Córdoba, España*

\* Autor para correspondencia

• Quetzalcóatl Hernández-Escobedo •  
*Universidad Veracruzana, México*

• Ma. Jesús Aguilera-Ureña •  
*Universidad de Córdoba, España*

## Resumen

Perea-Moreno, A. J., Hernández-Escobedo, Q., Aguilera-Ureña, M. J. (mayo-junio, 2017). Seguridad en el suministro del agua y energía limpia: una propuesta de proyecto para los regantes del río Torrox. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(3), 151-158.

El agua y la energía están íntimamente relacionadas y son de vital importancia para el desarrollo económico y social de una región, pues en la generación de electricidad se requiere agua, y en el tratamiento y transporte del agua es necesaria la electricidad. Se prevé que la demanda aumente de forma considerable, esperándose un incremento del 35% de la demanda de energía y 65% de la de agua para el año 2035. Por ello, se considera necesario estudiar la relación que existe entre ambas. Por otro lado, el consumo energético del sector agricultura y pesca en España se debe primordialmente a la maquinaria agrícola y a los sistemas de riego. Aunque representa el 3.5% de los consumos energéticos finales, presenta tendencia al crecimiento debido en gran medida a la evolución del regadío frente al secano y a la modernización de los sistemas de riego, que requieren mayor consumo de energía que los tradicionales. Este estudio aplica los conceptos de la conservación del agua, ahorro de energía y generación de electricidad con energía hidráulica. El análisis se ha aplicado al estudio del caso de la Comunidad de Regantes Río de Torrox (Torrox), representante de las comunidades de riego a gran escala en Málaga, España, y en similares áreas semiáridas con pronunciada orografía.

**Palabras clave:** nexa agua y energía, regadío, energía hidráulica, eficiencia energética, turbina, comunidad regantes.

## Abstract

Perea-Moreno, A. J., Hernández-Escobedo, Q., Aguilera-Ureña, M. J. (May-June, 2017). Water supply security and clean energy: A project proposal for irrigators in the river Torrox. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 8(3), 151-158.

Water and energy are closely linked and of vital importance for economic and social development in a region, since electricity generation requires water, and water treatment and transportation require electricity. Future predictions show that the situation may worsen with a 35% increase in energy demand and 85% increase in water demand by 2035, hence the importance of studying the relationship between water and energy. On the other hand, the energy consumption of the Agriculture and Fisheries sector in Spain is mainly due to farm machinery and irrigation systems. Although representing 3.5% of final energy consumption, it shows a growth tendency, due largely to the development of irrigation versus rain-fed and the modernization of irrigation systems, which require higher energy consumption than the traditional ones. This study applies the concepts of water conservation, energy conservation and generation of electricity with hydropower. The analysis was applied to study the case of the Irrigation Community of the River Torrox, (Torrox), which is representative of the large-scale irrigation communities in Malaga (Spain) and other similar semi-arid areas with steep terrain.

**Keywords:** Water-energy nexus, irrigation, hydropower, energy efficiency, turbine, irrigation community.

Recibido: 22/02/2016

Aceptado: 30/11/2016

## Introducción y objetivos

El agua se utiliza en todas las fases del ciclo energético: en extracción y minería, directamente en la generación de energía hidroeléctrica, para el enfriamiento de las centrales eléctricas y para el riego de cultivos. Al mismo tiempo, se necesita energía en todas las fases del ciclo del agua: extracción y bombeo de agua, desalación, purificación y distribución a los usuarios finales (Lofman, Petersen, & Bower, 2002).

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) estima que para el año 2035 se experimente un aumento del 35% de la demanda de energía, correspondiendo el 20% al sector energético, y 85% de la demanda de agua. El consumo de agua crecerá en especial en sectores como las centrales eléctricas, debido al uso de tecnologías avanzadas, y a la expansión que se espera que se produzca en los cultivos utilizados en la producción de biocombustibles (IEA, 2012).

Agua y electricidad son fundamentales para que una sociedad funcione. Cualquier relación entre ambos inevitablemente tiene una fuerte dimensión social. Por ejemplo, los regantes y las centrales hidroeléctricas están en riesgo de perder su asignación de agua y, por lo tanto, la generación hidroeléctrica, en particular durante épocas de sequía (Lofman *et al.*, 2002). Investigaciones realizadas por la Comisión de Energía de California han encontrado que los recursos hídricos y energéticos están inextricablemente conectados, y esto se conoce como el nexo agua-energía. El transporte y tratamiento de agua, tratamiento y eliminación de aguas residuales, y la energía utilizada para calentar y consumir agua representan casi el 20% de la electricidad total que se consume en California, EUA. Se espera que la demanda de recursos hídricos aumente principalmente debido al crecimiento de la población y también como resultado de factores externos, como el cambio climático (California Energy Commission, 2005).

El uso de sistemas capaces de generar energía de forma limpia y sostenible está teniendo en los últimos años un gran crecimiento, con el objetivo de paliar los problemas de cambio

climático y agotamiento de los recursos a los que se enfrenta nuestro planeta. Según lo expuesto en el Protocolo de Kyoto, junto con la decisión de la Comunidad Europea de reducir las emisiones que producen el cambio climático, ha encadenado un incremento en la importancia del uso de estos sistemas (Rahman & Kirkman, 2015).

Desde finales del siglo XVII, el empleo de los recursos hídricos ha sido la forma más común de producción de energía eléctrica, atribuyéndosele en los últimos un valor añadido respecto a otros tipos de producción de energía. Este tipo de energía supone un reducido impacto en el medioambiente por la no emisión de sustancias contaminantes a la atmósfera, gracias a lo cual destaca por su grandes beneficios medioambientales (De Jesús-Ramos-Gutiérrez, & Montenegro-Fragoso, 2012).

El diseño de la red de distribución es un factor muy importante a la hora de suministrar agua de riego de forma eficiente desde el punto de vista energético (Salazar-Moreno, Rojano-Aguilar, & López-Cruz, 2014). La topografía del terreno determinará el diseño de la red. Es muy común que existan desniveles importantes en la superficie regada por una comunidad de regantes. En el diseño de la red de distribución es importante definir diversos sectores de riego, a fin de que cada uno de ellos abastezca a los hidrantes con cota homogénea.

Los regadíos andaluces se extienden sobre unas 1 106 000 ha (31% del total nacional) de las que un 22.6% se riegan por gravedad; 13.4%, por aspersión; 64% por métodos localizados en campo abierto y en invernaderos, equivaliendo esta última superficie a casi la mitad (45.4%) del total regado en España por micro-riego. Estos regadíos se encuentran en plena dinámica de modernización para mejorar el uso de los limitados recursos hídricos que tienen, reducir los consumos del riego y elevar la eficiencia de uso de los volúmenes disponibles para usos agrícolas.

El concepto de eficiencia se ha utilizado tradicionalmente para el diseño de sistemas de riego y para programar el riego. Sin embargo,

varios autores han señalado (sobre todo desde la década de 1990) que este concepto no es adecuado para evaluar el impacto hidrológico de los regadíos en la cuenca (Willardson, Allen, & Frederiksen, 1994; Seckler, 1996; Perry, 1999; Seckler, Molden, & Sakthivadivel, 2003; Jensen, 2007; Perry, 2007). La eficiencia no tiene en cuenta aspectos como reutilización del agua; distinción entre el uso total de agua y el consumo de agua; influencia del lugar de uso dentro de la cuenca, y la calidad del agua. Estas cuestiones son especialmente importantes para la gestión del agua en un contexto de escasez. Los autores antes mencionados, así como otros (Huffaker, 2008; Ward & Pulido-Velázquez, 2008), comentaron ejemplos de malentendidos en las prácticas de gestión del agua y los programas de conservación del agua debido a un uso inadecuado del concepto de eficiencia.

Este estudio aplica los conceptos de la conservación del agua, ahorro de energía y generación de electricidad con energía hidráulica. El análisis se ha aplicado al estudio del caso de la Comunidad de Regantes Río Torrox, representante de las comunidades de riego a gran escala en España y en similares áreas semiáridas. El objetivo de este trabajo es contribuir a la optimización del uso del agua en las comunidades de regantes, así como la integración de energías renovables como alternativa innovadora.

### Problemática actual

En la comarca de la Axarquía malagueña, España, se han establecido cultivos de regadío con gran productividad debido a su buena

adaptación a las temperaturas y a la aportación de los requerimientos hídricos de forma artificial. Estos regadíos son una gran fuente económica de la que se sustenta la comarca.

La comunidad de regantes de Torrox, objeto de estudio, se ubica en la comarca de la Axarquía (Málaga), dentro del término municipal de Torrox, y comprende todo éste y parte del término municipal de Cómputa. La superficie regable de la comunidad comprende unas 425 hectáreas.

Torrox presenta clima subtropical. Tiene uno de los inviernos más cálidos de Europa, con temperaturas promedio de 17 °C (62.6 °F) durante el día y 7.8 °C (45-46 °F) por la noche en el periodo de diciembre a febrero. La temporada de verano dura alrededor de ocho meses, de abril a noviembre, aunque también en el resto de los cuatro meses las temperaturas a veces llegan a alrededor de 20 °C (68.0 °F).

En el cuadro 1 se presentan los cultivos actuales de la zona.

Estos cultivos presentan unos elevados requerimientos hídricos en una zona en la que la disponibilidad de dichos recursos hídricos está determinada por la estacionalidad del clima mediterráneo.

Para el mes de máxima demanda resulta un consumo teórico neto de 1 190.35 m<sup>3</sup>/ha y mes.

Sobre estas cifras se han considerado, en función del sistema existente de riego en parcela, unas pérdidas en conducción y de aplicación del riego de un 10% en favor de seguridad, con lo que se obtienen unos consumos reales de 1 322.61 m<sup>3</sup>/ha y mes, resultando un caudal ficticio continuo de 0.49 l/s.ha.

Cuadro 1. Distribución de cultivos.

Cultivos	Superficie actual (ha)	% superficie total
Frutales hoja caduca	123.25	29
Hortícolas aire libre	68	16
Invernaderos	42.5	10
Subtropicales	191.25	45
<b>Total</b>	425	100

El esquema hidráulico para riego que presenta esta comunidad es el siguiente: desde un azud de derivación del río Torrox, situado a una cota de 299 msnm, un caudal máximo de 200 l/s es conducido hasta un depósito (299 msnm) con una capacidad bruta de 6 000 m<sup>3</sup>. A este depósito también llegan aguas procedente de la Estación de Aguas Residuales (EDAR) de Torrox (152 msnm) mediante un sistema de bombeo, en concreto un caudal de 85 l/s. A partir del depósito se realiza una distribución de agua por presión natural, mediante un sistema de tuberías, a las diferentes parcelas hidráulicas que poseen una superficie de 425 hectáreas. A cada parcela hidráulica se le ha asignado un hidrante, emplazado en el punto más óptimo para facilitar el acceso próximo a las parcelas que riega.

La comunidad de regantes presenta la siguiente problemática:

La presente red de infraestructuras existente en la comunidad de regantes no permite tener reservas hídricas, al no poseer dispositivos de almacenamiento. El depósito (capacidad bruta: 6 000 m<sup>3</sup>) permite acumular una cantidad neta aproximada de 5 700 m<sup>3</sup> durante el periodo nocturno de ocho horas. Este depósito es de hormigón armado y está tapado mediante un forjado para evitar pérdidas por evaporación. Durante el día se comienza a regar, siendo el caudal de salida del depósito mayor que el de entrada, por lo que se produce una disminución progresiva del nivel de agua acumulada. Cuando finaliza el periodo de riego (16 horas), el depósito no contiene agua almacenada, los 5 700 m<sup>3</sup> se volverán a acumular durante el periodo nocturno. La cantidad almacenada permite que durante el día se tenga un abastecimiento continuo y una mezcla con aguas regeneradas de la EDAR. Esta situación no permite que ante épocas desfavorables, como sequías, se tenga una seguridad de abastecimiento completo para toda la Comunidad de Regantes, ya que existe una dependencia del caudal circulante que posee el río Torrox en ese momento. Además, esta situación no faculta aprovechar al máximo la situación privilegiada de la zona, en lo que a

cultivos tropicales se refiere, ya que es de los pocos enclaves de Europa donde pueden coexistir este tipo de cultivos.

Con este estudio se pretende una mejora en el aprovechamiento hídrico del río Torrox y la generación de electricidad a partir fuentes de energía limpia, aprovechando la pronunciada orografía de la zona.

## Materiales y métodos

Se analizaron los caudales medios diarios del río de los últimos 25 años (figura 1).

El agua empleada en el regadío proviene del río Torrox y de la EDAR del municipio de Torrox. Actualmente no se llega a una explotación total de la concesión de agua del río Torrox (425 l/s) asignada a la Comunidad de Regantes, ya que el azud actual posee un caudal máximo de entrada de 200 l/s. Por otro lado, las infraestructuras existentes en la zona en la actualidad están diseñadas para satisfacer la demanda diaria en los meses donde ésta es mayor, por lo que para esos meses no existen reservas hídricas; esto crea una dependencia del caudal circulante del río (no da garantía de abastecimiento). Con este proyecto se pretende dar estabilidad a la zona eliminando esa dependencia, para ello se crea una infraestructura de almacenamiento (balsa). Teniendo en cuenta estos dos factores, se realizará una nueva captación del río (azud cota 450 msnm) que permita el almacenamiento de reservas hídricas.

Este estudio no prevé modificación alguna en el origen del agua de riego. Las fuentes de suministro seguirán siendo las mismas de las que ya se abastece la comunidad de regantes.

Se estudió la disponibilidad de terrenos para la inclusión de una balsa de almacenamiento que permita un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos del río Torrox, y se evaluó desde el punto técnico, económico y financiero la posibilidad de instalar una central de turbinas hidráulicas que genere electricidad a partir de la considerable diferencia de cotas entre la balsa anteriormente citada y el azud actual que posee la comunidad de regantes.

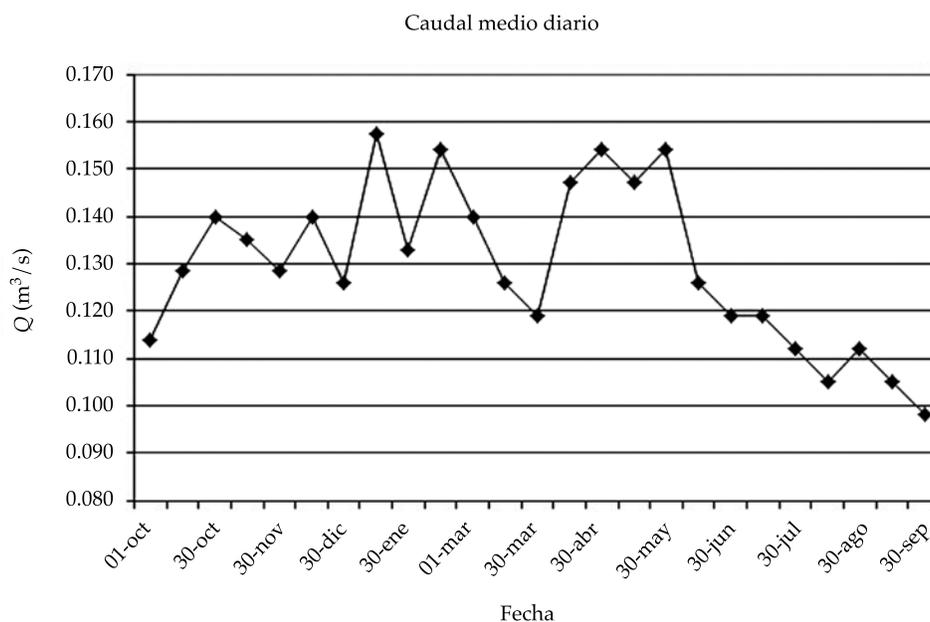


Figura 1. Caudales medios mensuales, río Torrox (1989-2014).

## Resultados y discusión

Tras el estudio de las distintas alternativas, la solución finalmente adoptada plantea la modificación del sistema de riego que puede observarse en la figura 2.

Se proyecta un azud de derivación en el río Torrox a cota 450 msnm, que complementa al situado a cota 299 msnm. Este nuevo azud se sitúa a esta cota, a fin de permitir el transporte de agua por gravedad hasta una nueva balsa de almacenamiento y regulación, con una capacidad de 133 845.18 m<sup>3</sup>, situada a una cota de 430 msnm (figura 3).

Este almacenamiento de recursos hídricos le proporciona a la Comunidad de Regantes Río de Torrox un gran margen de seguridad y manobra en el futuro ante situaciones de sequía. Esto tiene una gran importancia, pues proporcionará al sector una estabilidad, permitiendo así su mantenimiento.

La unión entre el azud y la balsa se efectuará a través de una tubería de polietileno de alta densidad y diámetro de 500 mm, cuya longitud

aproximada es de 4 000 m; su traza se ha diseñado aprovechando la red de caminos de la zona. El agua de la balsa se deriva por gravedad hasta una central de turbinas tipo Pelton, situada a 300 msnm, aprovechando así el salto de cota (130 m) para la producción de energía eléctrica. Esta central de turbinas presentará un funcionamiento de 2 800 horas y una producción eléctrica de 1 691 200 kW/h/año. El paso de agua desde la balsa hasta la central de turbinas también se llevará a cabo mediante una tubería, la cual tendrá una longitud total de 728.57 m.

La energía generada se vierte a la red general eléctrica. Este estudio estima una producción de 1 306 333.43 kWh/año. Una vez turbinada, el agua tiene dos posibles caminos:

- Por un lado se deriva el agua a través de una tubería hasta el sistema actual de distribución.
- Por otro lado, cuando estén satisfechas las necesidades de riego de los cultivos, ya que existen meses en la que ésta es menor, y no se haya utilizado todo el agua

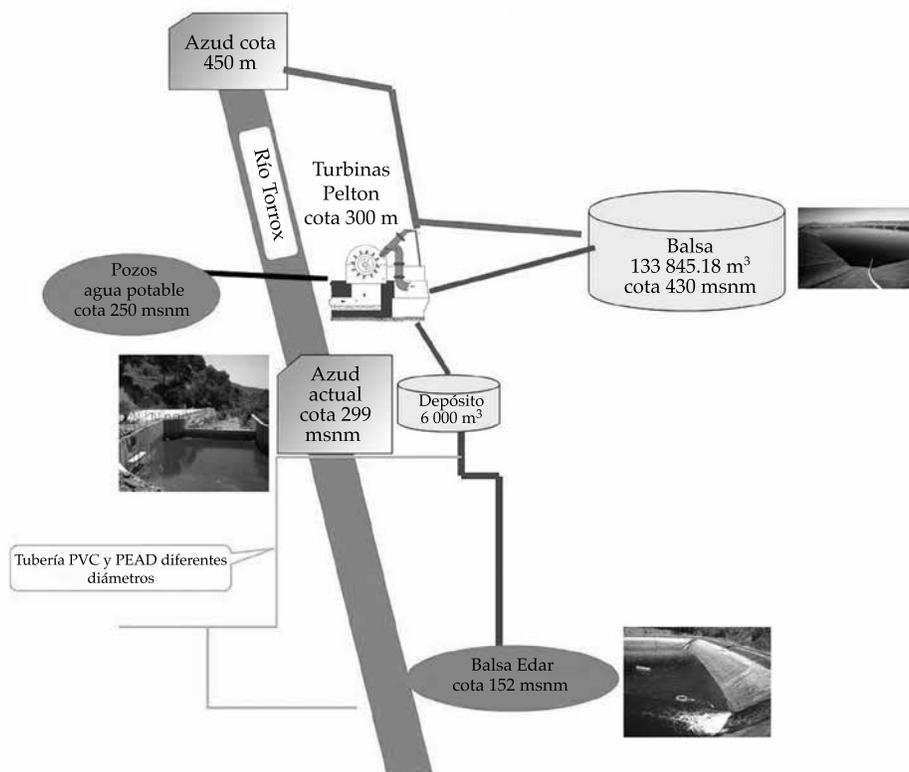


Figura 2. Esquema general del proyecto.



Figura 3. Diseño de nueva balsa de almacenamiento y regulación, con una capacidad de 133 845.18 m<sup>3</sup>, situada a una cota de 430 msnm.

de la concesión del río Torrox, esta agua se inyectaría en la tubería de distribución de los pozos que posee el ayuntamiento de Torrox. Se ha estimado que se puede inyectar una cantidad de 1 520 789.55 m<sup>3</sup>/año.

Se debe tener en cuenta que todo el recorrido del agua por las diferentes infraestructuras se realiza sin necesidad de ningún sistema de bombeo, gracias a la diferencia de cota entre las sucesivas infraestructuras.

El coste total de este proyecto se estima en 8 552 650.62 €, lo que supone un coste por hectárea de 20 123.88 €.

Tanto la energía generada como el aporte de agua a los pozos del ayuntamiento a través de las infraestructuras de la comunidad supondría ingresos económicos, tal y como se presenta en el cuadro 2.

Con base en los beneficios presentados en el cuadro 2, se prevé un periodo de retorno de 19 años.

## Conclusiones

El agua y la energía son recursos clave e interdependientes a escala mundial. Se prevé que las cuestiones relacionadas con la escasez de agua y energía aumenten en las próximas décadas con las crecientes demandas, por lo que, para evitar las consecuencias, es necesario actuar ahora.

En este estudio se plantea un nuevo modelo de gestión de los recursos hídricos que actualmente posee la Comunidad de Regantes Río de Torrox, con el objeto de mejorar la eficiencia del uso del agua, así como la producción de energía, aprovechando la orografía de la zona.

Estas mejoras en la Comunidad de Regantes supondrán un ahorro e ingresos para dicha

comunidad, que sufragarán el coste de las obras necesarias para llevar a cabo la propuesta de este estudio, propiciando una mejora en la gestión de su recurso hídrico principal (río Torrox) y la cogeneración de electricidad a partir de fuentes limpias.

## Referencias

- De Jesús-Ramos-Gutiérrez, L., & Montenegro-Fragoso, M. (2012). Generation of electric energy in Mexico. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 3(4), 197-211.
- Huffaker, R. (2008). Conservation potential of agricultural water conservation subsidies. *Water Resources Research*, 44(7), DOI: 10.1029/2007WR006183.
- IEA (2012). Chapter 17: Water for energy. Is energy becoming a thirstier resource. In: *World Energy Outlook 2012*. International Energy Agency, Organization for Economic Cooperation & Development (OECD). Recovered from [http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO\\_2012\\_Water\\_Excerpt.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/2012/WEO_2012_Water_Excerpt.pdf).
- Jensen, M. E. (2007). Beyond irrigation efficiency. *Irrigation Science*, 25(3), 233-245.
- Klein, G., Krebs, M., Hall, V., O'Brien, T., & Belvins, B.B. (2005). *California's water-energy relationship*. California: California Energy Commission.
- Lofman, D., Petersen, M., & Bower, A. (2002). Water, energy and environment nexus: The California experience. *International Journal of Water Resources Development*, 18(1), 73-85.
- Perry, C. (2007). Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations. *Irrigation and Drainage*, 56(4), 367-378, DOI: 10.1002/ird.323.
- Perry, C. J. (1999). The IWMI water resources paradigm. Definitions and implications. *Agricultural Water Management*, 40(1), 45-50, DOI: 10.1016/S0378-3774(98)00102-4.
- Rahman, S. M., & Kirkman, G. A. (2015). Costs of certified emission reductions under the clean development mechanism of the Kyoto Protocol. *Energy Economics*, 47, 129-141.
- Salazar-Moreno, R., Rojano-Aguilar, A., & López-Cruz, I. L. (2014). La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(2), 177-183.

Cuadro 2. Ahorro e ingresos de la alternativa para la Comunidad de Regantes.

Concepto	Volumen (m <sup>3</sup> )	Producción eléctrica (kWh/año)	Precio (€/m <sup>3</sup> )	Precio (€/kWh)	Importe total anual (€)
Agua aportada a los pozos	1 520 789.55		0.12		215 343.80
Cogeneración de electricidad		1 306 333.43		0.085	131 025.24

- Seckler, D. W. (1996). *The new era of water resources management: from "dry" to "wet" water savings*. Research Report 1. Colombo: International Irrigation Management Institute (IIMI).
- Seckler, D., Molden, D., & Sakthivadivel, R. (2003). The concept of efficiency in water resources management and policy. Cap. 3. In: *Water productivity in agriculture: Limits and opportunities for improvement*. CABI Publishing.
- Ward, F. A., & Pulido-Velázquez, M. (2008). Water conservation in irrigation can increase water use. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(47), 18215-18220.
- Willardson, L. S., Allen, R. G., & Frederiksen, H. D. (1994). *Elimination of irrigation efficiencies*. 13th Technical Conference on USCID, Denver, October 19-22.

### Dirección institucional de los autores

Dr. Alberto J. Perea Moreno

Universidad de Córdoba  
ETSIAM  
Departamento Física Aplicada  
Campus Universitario de Rabanales  
Ctra. Madrid-Cádiz, km. 396  
14014 Córdoba, ESPAÑA  
Teléfono: +34 (957) 212 633  
aperea@uco.es

Dr. Quetzalcóatl Hernández Escobedo

Universidad Veracruzana  
Facultad de Ingeniería  
Campus Coatzacoalcos  
Av. Universidad km. 7.5 Santa Isabel  
56535 Coatzacoalcos, Veracruz, MÉXICO  
Teléfono: +52 (921) 2115 700  
qhernandez@uv.mx

Dra. Ma. Jesús Aguilera Ureña

Universidad de Córdoba  
ETSIAM  
Departamento Física Aplicada  
Campus Universitario de Rabanales  
Ctra. Madrid-Cádiz, km. 396  
14014 Córdoba, ESPAÑA  
Teléfono: +34 (957) 212 018  
fa1agurm@uco.es