

Cuantificación mediante teledetección de las extracciones de agua subterráneas en el acuífero de Aguascalientes (México)¹

Salomón Montesinos⁽¹⁾, Lara Fernández⁽¹⁾, Bea Mateo⁽¹⁾, Manuel González⁽²⁾

⁽¹⁾ SM GEODIM, SL. Torre Albarrana s/n, 50340 Maluenda (Zaragoza), smontesinos@geodim.es

⁽²⁾ Secretario de Desarrollo Rural y Agroempresarial. Estado de Aguascalientes (México), manuel.gonzalez@aguascalientes.gob.mx

Resumen:

En México, el Manejo Sostenible de las Aguas Subterráneas constituye uno de los principales programas del tercer objetivo del Plan Nacional Hidráulico (PNH) “*Lograr el manejo integral y sustentable del agua en cuencas y acuíferos*”, reconocido como el objetivo principal para concentrar las estrategias que logren un cambio del manejo de los recursos hídricos.

México posee 653 acuíferos, de los cuales, el 19% están sobreexplotados, es decir 126, debido a que el agua que se extrae de ellos supera sus niveles de recarga. El 49% del agua subterránea para todos los usos proviene de acuíferos sobreexplotados.

Desde los años 70, los distintos gobiernos (estatal y federal) han financiado programas para impulsar la agricultura en regadío y la industria lechera en el estado de Aguascalientes, mediante la explotación de agua subterránea. En la década de los 80 y 90, el sector industrial ha tenido un fuerte crecimiento, generando una mayor demanda de agua en los usos Urbanos, Industriales y Servicios, e incrementando la sobreexplotación existente.

La problemática que abordamos en este estudio es el agotamiento de un modelo económico agrícola basado en cultivos de alta dotación en zonas áridas y semiáridas, mediante la extracción de aguas subterráneas. Las principales limitaciones para abordar la problemática de un acuífero sobreexplotado son la insuficiente información en aspectos fundamentales como el volumen real de las extracciones de agua o de la recarga; la incapacidad de la administración para ejercer un control efectivo de dichas extracciones y, por último, la falta de asesoramiento a los regantes para que realicen una agricultura de precisión tendente a reducir su consumo de agua, pero manteniendo sus ingresos económicos.

En este estudio se muestran los avances en la mejora del conocimiento de las extracciones de agua subterránea con destino a riego, en el acuífero de Aguascalientes utilizando técnicas de teledetección espacial.

Palabras clave: Landsat, recursos hídricos, acuíferos, sobreexplotación, Aguascalientes.

Remote sensing quantification of groundwater abstractions in the Aguascalientes aquifer (Mexico)

Abstract:

In Mexico, the Sustainable Management of Groundwater is one of the main programs of the third objective of the National Hydraulic Plan (PNH) "To achieve the integrated and sustainable water

¹ in Calvache, M.L.; Duque, C. y Pulido-Velázquez, D. (Eds): Impacts of Global Change on Western Mediterranean Aquifers. Proceedings Congress on Groundwater and Global Change in the Western Mediterranean. Granada 2017. pp: 391-396

management in river basins and aquifers", recognized as the main objective to concentrate strategies that accomplish a change in the management of water resources.

Mexico has 653 aquifers, of which 19% are overexploited, ie 126, because the water extracted from them exceeds their recharge levels. The 49% of groundwater for all uses comes from overexploited aquifers.

Since the 1970s, different governments (state and federal) have financed programs to boost irrigated agriculture and the dairy industry in the state of Aguascalientes, through the exploitation of groundwater. In the 1980s and 1990s, the industrial sector experienced a strong growth, generating a greater demand for urban, industrial and service water uses, and an increasing the existing overexploitation.

The problematic that we address in this study is the depletion of an agricultural economic model based on high-endowment crops in arid and semi-arid zones, through groundwater extraction. The main limitations to address the problematic of an overexploited aquifer are the insufficient information on fundamental aspects, such as, the actual volume of water withdrawals or recharge; the inability of the administration to exercise an effective control of these extractions and, finally, the lack of advice to the irrigators to carry out a precision agriculture aimed to reduce their water consumption, but maintaining their economic incomes.

This study shows the advances in the improvement of the knowledge of the groundwater extraction for irrigation in the aquifer of Aguascalientes by using remote sensing techniques.

Key words: *Landsat, water resources, aquifers, overexploitation, Aguascalientes.*

1. INTRODUCCIÓN

La problemática que se quiere abordar en este proyecto es la del agotamiento, en zonas áridas y semiáridas, de un modelo económico agrícola basado en cultivos de alta dotación mediante la extracción de aguas subterráneas.

En las regiones áridas y semiáridas del planeta, la superficie regada ha experimentado un rápido crecimiento ligado a la transformación de una agricultura extensiva hacia un escenario de mayor intensificación y tecnificación de los sistemas de riego. Este incremento de la superficie regada está relacionado con la explotación de las aguas subterráneas existentes.

En España, ya en el año 1987, el entonces Servicio Geológico de la Dirección General de Obras Hidráulicas se planteó el problema de conocer el volumen de las extracciones de agua subterránea con destino a regadío, que se estaba produciendo en los acuíferos de La Mancha. Se trataba de conocer las extracciones que se llevaban a cabo y que estaban provocando la disminución drástica de las surgencias al río Júcar en su curso medio y la desecación del río Guadiana en las proximidades del Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, con los consiguientes problemas medioambientales y socioeconómicos. En ese momento, se estaban utilizando, por primera vez en España, las técnicas de teledetección espacial aplicadas a la hidrología y al conocimiento de los usos del agua. Las imágenes de satélite proporcionaron resultados sorprendentes, aportando no sólo una estimación del volumen de las extracciones de agua subterránea, sino también, su distribución espacial y temporal en todo el territorio de La Mancha (LÓPEZ-CAMACHO, 1999).

Desde entonces, las técnicas de teledetección espacial son una herramienta básica para la medida y evaluación de las extracciones de aguas subterráneas en cuencas hidrográficas españolas, como la del Segura (MONTESINOS et al, 2009a), Duero (MONTESINOS et al, 2009b), Guadalquivir (MONTERO et al, 2005) o Baleares (MONTESINOS et al, 2011).

Las especiales características de la teledetección espacial (resolución espacial, temporal, espectral y radiométrica) y la gratuidad de imágenes de alta resolución (Landsat, Sentinel, Aster...), la convierten en una potente, dinámica y objetiva fuente de datos para la planificación y gestión integrada de los recursos hídricos.

Distintos aspectos metodológicos de la cuantificación de superficies en regadío mediante teledetección espacial se pueden ver en MONTESINOS (1990), MONTESINOS y BEA (2008) y BEA et al (2013).

Esta experiencia de 30 años en España, nos permite abordar el objetivo principal de nuestro estudio, que es la mejora del conocimiento de las extracciones de agua subterránea con destino a riego en el acuífero de Aguascalientes (México) utilizando técnicas de teledetección espacial para, por un lado, implementar un control del régimen de explotación de los acuíferos sobreexplotados y por otro, implantar medidas de apoyo, utilizando una metodología de [agricultura de precisión](#), para el cambio de cultivos de alta dotación (maíz, alfalfa...) a cultivos más rentables económicamente y con menores necesidades hídricas (viña, olivo...).

2. EL ACUÍFERO DE AGUASCALIENTES

En México, la importancia del agua subterránea se manifiesta en la magnitud del volumen utilizado por los principales usuarios. Alrededor del 37% del volumen total concesionado para usos consuntivos, pertenece a este origen. El país está dividido en 653 acuíferos, de los cuales, el 19% están sobreexplotados, es decir 126 de los 653, debido a que el agua que se extrae de ellos supera sus niveles de recarga. De los acuíferos sobreexplotados se extrae el 49% del agua subterránea para todos los usos. El número de acuíferos sobreexplotados ha ido aumentando de manera significativa desde la década de los 70.

En contraposición, desde los años 70, los distintos gobiernos (estatal y federal) han financiado programas para impulsar la agricultura en regadío y la industria lechera en el estado de Aguascalientes, mediante la explotación de agua subterránea. En la década de los 80 y 90, el sector industrial ha tenido un fuerte crecimiento, lo que ha generado una mayor demanda de agua para los usos Urbanos, Industriales y Servicios, incrementando la sobreexplotación existente en el acuífero.

En abril del año 2000, se estableció oficialmente el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) del acuífero interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación que opera como un organismo auxiliar del Consejo de cuenca del Río Santiago. COTAS es una Asociación Civil sin ánimo de lucro, conformada por todos los usuarios de aguas nacionales dentro del acuífero interestatal, con participación de las autoridades, académicos y ciudadanos involucrados en el tema del agua.

El acuífero está conformado esencialmente por un valle drenado por el río San Pedro que recibe el nombre de Ojocaliente en Zacatecas, Aguascalientes en el propio estado y Encarnación de Díaz, en Jalisco. Cubre una superficie de 4.693 Km², de los cuales el 63% se localiza en el Estado de Aguascalientes, el 33% en Zacatecas y el 4% restante en Jalisco.

En el acuífero existe un déficit de unos 205 hm³ anuales en el balance hídrico (recarga menos extracciones) que se cubre a costa de la reserva subterránea no renovable. En 30 años (desde 1970 al año 2000), el descenso medio acumulado del acuífero fue del orden de 60 metros, con profundidades medias de bombeo cercanas a los 100 metros (hasta 150 metros en Aguascalientes y Pabellón).

El análisis de alternativas del plan de manejo del acuífero interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación determinó que:

- El margen de reutilización del agua y la recuperación de fugas, resultan insuficientes para equilibrar el balance del acuífero.
- La reconversión agrícola y un banco de derechos de agua a favor del acuífero son opciones clave para estabilizar el acuífero.
- Únicamente la desconcentración de extracciones de la zona actualmente sobreexplotada permitirá evitar el deterioro progresivo del acuífero. Los proyectos de estabilización deben dirigir sus impactos específicamente a la zona sobreexplotada

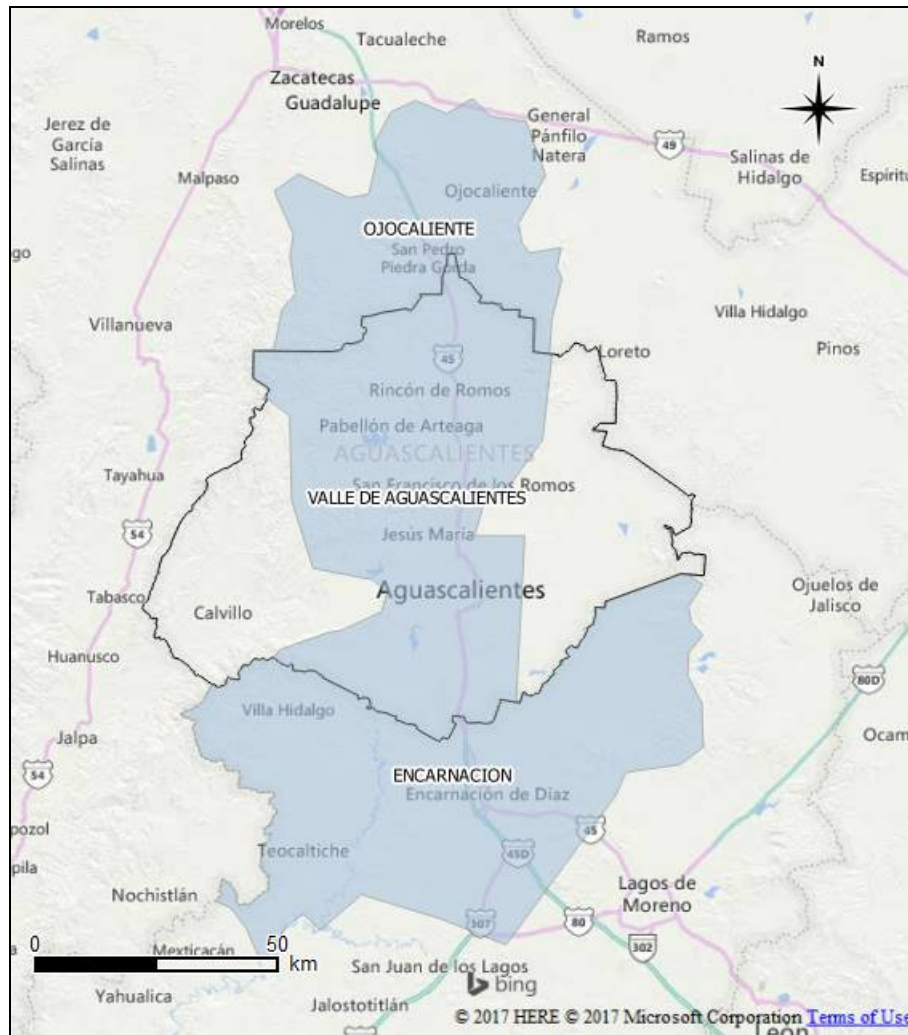


Figura 1. Localización del acuífero interestatal Ojocaliente-Aguascalientes-Encarnación (México)

Una de las principales limitaciones para abordar la problemática de un acuífero sobreexplotado es la insuficiente información en aspectos fundamentales como el volumen real de las extracciones de agua o de la recarga. Otra, es la incapacidad de la administración para ejercer un control efectivo de dichas extracciones, mediante técnicas convencionales (visitas de campo, fotografía aérea, contadores...), que se realizan en miles de explotaciones repartidas por un amplio territorio y, por último, la necesidad de asesorar al regante para que realice una agricultura de precisión tendente a reducir su consumo de agua, pero manteniendo sus ingresos económicos.

3. TRABAJOS A REALIZAR

Las actuaciones que se plantean realizar en el proyecto se dividen en dos grandes grupos:

1. Medidas de control de las extracciones de agua subterránea tendentes a conocer de forma localizada el uso del agua que se está realizando por parte de los usuarios.
 - Mejora del conocimiento de la evolución de las extracciones de agua subterránea con destino a riego
 - Reconocimiento de aprovechamientos en regadío existentes en el acuífero
 - Control del Régimen de explotación
 - Banco de derechos de riego
2. Medidas de asesoramiento agrícola y de uso eficiente del agua de riego. Implantar una agricultura de precisión que fomente cultivos con mayor rentabilidad económica y menor consumo de agua.
 - Zonificación de las superficies agrícolas existentes
 - Implantación de una red de monitorización (planta-clima-suelo) de ámbito estatal
 - Sistema de asesoramiento de riego
 - Sistema de asesoramiento agrícola para cultivos de alto valor añadido y baja dotación hídrica (viña, almendro, olivos...)

Se han recopilado imágenes del satélite Landsat desde 1985 hasta la actualidad, a partir de las cuales hemos podido identificar las superficies realmente regadas a lo largo de los últimos 30 años y su evolución en el tiempo (Figuras 2 y 3).

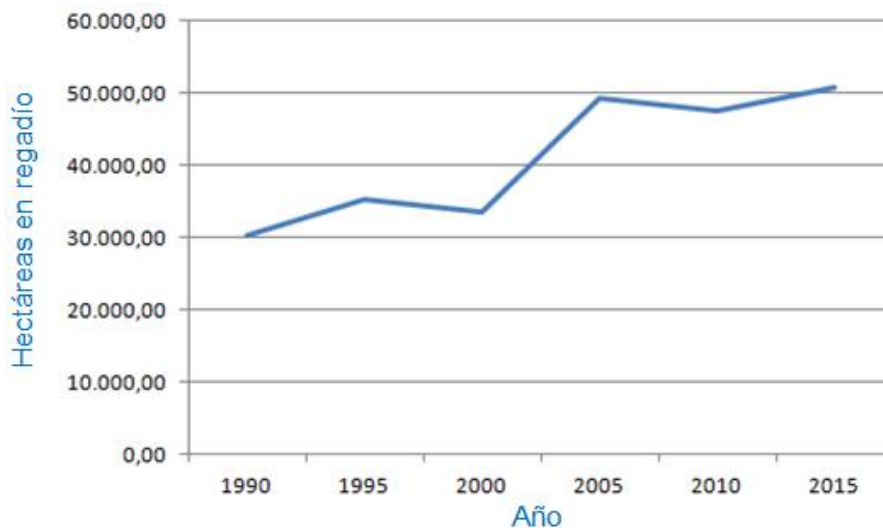


Figura 2. Estimación por teledetección de la superficie en regadío en el acuífero de Aguascalientes entre 1990 y 2015

Esta información se está integrando con el inventario de pozos existente y con los límites de las explotaciones agrícolas con objeto de elaborar una geodatabase con los aprovechamientos en regadío existentes, que nos permita realizar el control del régimen de explotación en el ámbito de parcela y detectar los usos inadecuados, bien por consumo excesivo, bien por carecer de concesión administrativa, así como recomendaciones de riego y de agricultura de precisión personalizadas.

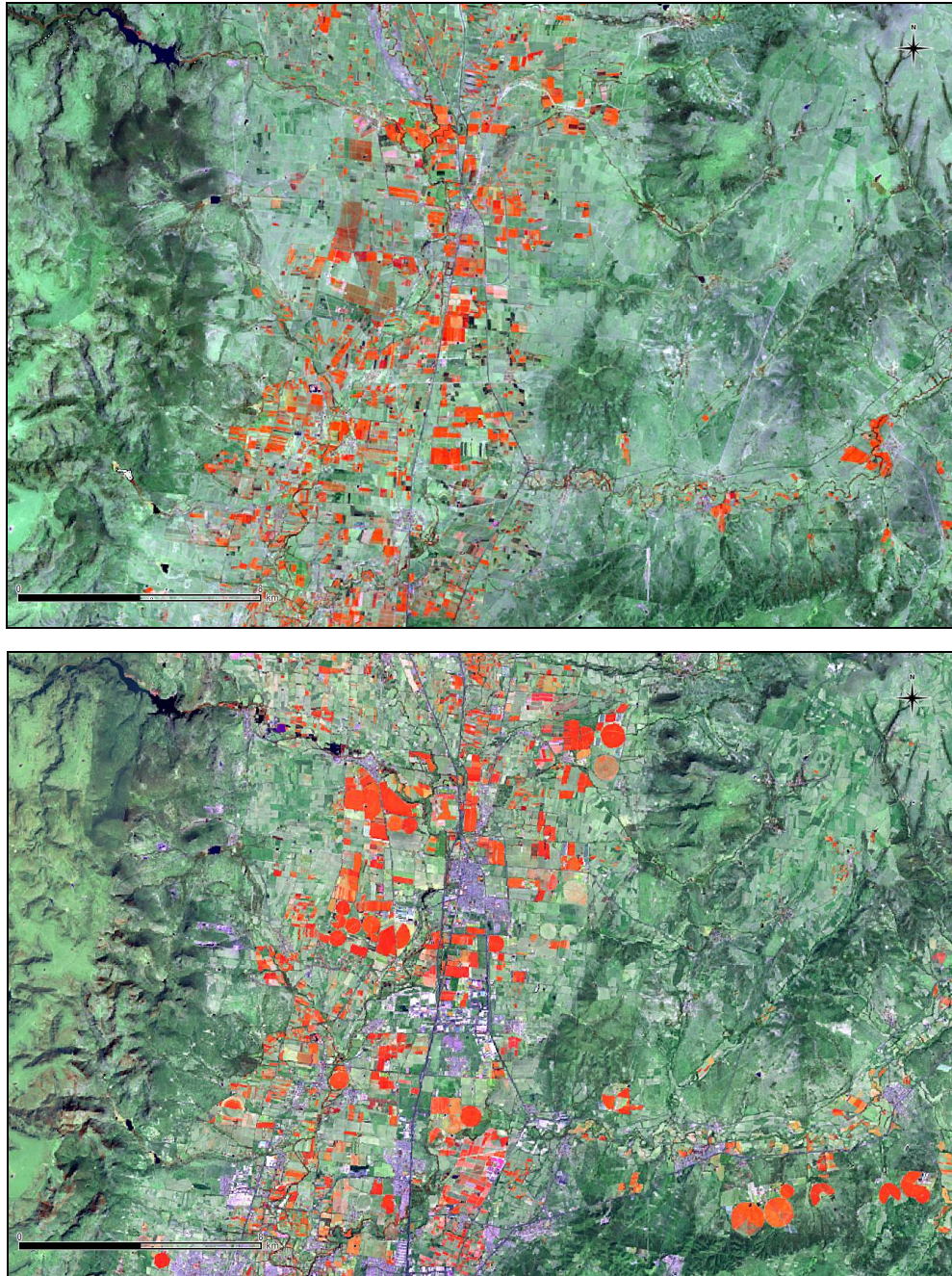


Figura 3. Imágenes de satélite en infrarrojo con los regadíos (en rojo) existentes en los años 1985 (arriba) y 2015 (abajo) al norte de la ciudad de Aguascalientes (México).

La agricultura de precisión es el manejo diferenciado de los cultivos utilizando herramientas tecnológicas que permiten detectar la variabilidad existente en los ranchos agrícolas. Los datos captados por los sensores se almacenan digitalmente en forma de tablas y mapas, a partir de los cuales se genera información que facilita la toma de decisiones en campo (fertilización, poda, aclareo...).

La metodología propuesta se basa en establecer una red de monitorización con sensores in situ (planta-clima-suelo) y sensores remotos (imágenes de satélite), junto con datos de campo y predicción microclimática que nos facilite la toma de decisiones agronómicas en campo (Figura 4).

Durante las campañas agrícolas de 2015 y 2016 hemos realizado una experiencia piloto de viticultura de precisión en varios ranchos que nos ha permitido una mejora sustancial en la calidad de los vinos elaborados y en la rentabilidad económica del cultivo. Esta experiencia nos va servir para fomentar un cambio de cultivos menos rentables y con mayor consumo de agua, como la alfalfa y el maíz, a cultivos de viña más rentables y con necesidades de riego sustancialmente menores.



Figura 4. Esquema de la metodología SMART para realizar una agricultura de precisión

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los primeros proyectos piloto llevados a cabo en el acuífero de Aguascalientes utilizando técnicas de teledetección espacial nos han permitido conocer la distribución espacial y temporal de los cultivos en regadío desde 1985 hasta la actualidad y demostrar la viabilidad económica de la viña como cultivo alternativo en el acuífero.

El objetivo hacer frente a la sobreexplotación del acuífero mediante medidas de control del recurso, pero también de recomendación al agricultor para favorecer un cambio de paradigma agrícola en el Estado de Aguascalientes.

El Estado y la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) están promoviendo un proyecto para extender estas experiencias piloto a todo el estado, con el fin de reducir las extracciones de agua subterránea de los acuíferos y evitar que continúe su sobreexplotación.

5. BIBLIOGRAFÍA

- BEA MARTÍNEZ, M., RODRÍGUEZ ESTEBAN, J. A. y MONTESINOS ARANDA, S. (2013): *Uso de técnicas de información geográfica para la discriminación de superficies regadas*. *Revista GeoFocus* (Artículos), nº 13-1, p. 220-245. ISSN: 1578-5157.
- LOPEZ-CAMACHO, B. (1999) – El control indirecto de las extracciones de agua subterránea. En BALLESTER, A.; FERNÁNDEZ, J. A. Y LÓPEZ GETA, J. A. (1999): *Medida y Evaluación de las extracciones de agua subterránea*. ITGE. Madrid. pp:247-252. ISBN: 84-7840-361-2
- MONTERO, I., RODRÍGUEZ-PÉREZ A.J., CIFUENTES, V., MARTOS, J.C., MOLINA, F., RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ J.A., OYONARTE, N., y MUÑOZ A. (2005): “Mejoras metodológicas en la estimación por teledetección de la superficie en regadío en la demarcación de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir”. *Actas del XI Congreso Nacional de Teledetección*. Puerto de la cruz (Tenerife).
- MONTESINOS, S. (1990). *Teledetección: su utilización en la cuantificación y seguimiento de recursos hidráulicos aplicados al regadío*. Madrid, SGOP: Informaciones y estudios nº 51.
- MONTESINOS, S y BEA, M. (2008): “Aplicaciones operativas de la Teledetección en la planificación y gestión del medio hídrico”. *Revista de la Asociación Española de Teledetección*, nº 29: pp. 91-100. <<http://www.aet.org.es/revistas/revista29/Revista-AET-29-9.pdf>>
- MONTESINOS, S., ALMAGRO, F., URREA, M. (2009a). *Estimación de superficies en regadío en la Cuenca del Segura mediante teledetección y SIG*. XIII Congreso Internacional de Teledetección. Calatayud, 23 al 26 septiembre 2009. ISBN: 978-84-613-4257-0. Pg. 145-148.
- MONTESINOS, S., ARQUED, V., RODRÍGUEZ, I. (2009b). *Estimación de superficies en regadío en la Cuenca del Duero mediante teledetección y SIG*. XIII Congreso Internacional de Teledetección. Calatayud, 23 al 26 septiembre 2009. ISBN: 978-84-613-4257-0. Pg. 133 - 136.
- MONTESINOS, S., BEA, M.; BARÓN A., FERNÁNDEZ, L. & GONZÁLEZ, C. (2011). *Cuantificación mediante teledetección de la superficie regada en las Islas Baleares en los años 2008 y 2009*. XIV Congreso Internacional de Teledetección. Mieres del Camino, 21 al 23 septiembre 2011. Dep. Leg.: AS-3588-2011.