

## USO DE TÉCNICAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA DISCRIMINACIÓN DE SUPERFICIES REGADAS

MANUEL BEA MARTÍNEZ<sup>1,3</sup>, JOSÉ ANTONIO RODRÍGUEZ ESTEBAN<sup>2</sup>, SALOMÓN MONTESINOS ARANDA<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> GEOSYS S.L. Sistemas de Información de la Tierra.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Madrid. Dpto. de Geografía. España

<sup>3</sup> IE University, Master in Environmental Management

[mbea@geosys.es](mailto:mbea@geosys.es)

### RESUMEN

A pesar de la importancia que tiene el conocimiento preciso de la demanda agrícola para poder realizar una adecuada planificación hidrológica y una gestión sostenible de los recursos hídricos, en la actualidad se usa información basada en distintas fuentes de datos y metodologías que al contrastarse arrojan resultados poco consistentes entre sí. En esta comunicación, se presenta una metodología genérica de evaluación multicriterio para la discriminación de superficies regadas basada en el uso de datos geográficos mutiespectrales y multitemporales. Además, se tratan los principales conceptos operativos a considerar y se resalta la importancia de la adaptación de la metodología a la realidad agronómica y a las características territoriales. La comparación con los otros métodos disponibles muestra que el uso de técnicas geoespaciales debe considerarse como la alternativa más adecuada para la estimación de la demanda hídrica para la agricultura.

Palabras clave: Planificación hidrológica, TIG, teledetección, regadío.

### USE OF GEOGRAPHICAL INFORMATION TECHNOLOGY FOR THE DISCRIMINATION OF IRRIGATED CROPS

#### ABSTRACT

The accurate knowledge of water demand for agriculture is a key issue for an adequate water use planning and a sustainable management of water resources, but information currently used is frequently based on data sources and methodologies that show reduced consistence when cross-compared. This paper presents a generic multicriteria methodology for the discrimination of irrigated crops that is based on the use of geographic multispectral and multitemporal data. Besides, it addresses the main operational concepts to be considered and stresses the importance of adapting the methodological approach to the agronomic, environmental and climatic characteristics of the

territory. The comparison with other available methods indicates that geospatial techniques should be selected as the priority alternative when estimating water use for agriculture.

Keywords: Water use, geospatial technology, remote sensing, irrigation.

## 1. Introducción: conceptos sobre la cuantificación de superficies regadas

La superficie regada en España ha experimentado un crecimiento rápido y extendido desde la segunda mitad del siglo XX, ligado a una transformación generalizada desde una agricultura tradicional hacia un escenario de mayor intensificación, tecnificación y modernización de los sistemas de riego, así como a la utilización de las aguas subterráneas (López-Gunn y Llamas, 2008).

Se estima que las extracciones de aguas del subsuelo se sitúan en torno a los 6.500 hm<sup>3</sup> (Sahuquillo *et al.*, 2009), representando más del 20% del total de agua usada en España, aunque hay que tener en cuenta que casi la totalidad del agua empleada en las islas y en algunas zonas peninsulares tiene un origen subterráneo. Su uso para abastecimiento permite satisfacer las necesidades de cerca de una cuarta parte de la población del país, aunque el sector agrícola es el mayor consumidor del recurso (más de un 80% del total nacional), principalmente como consecuencia de la iniciativa privada de una gran cantidad de agricultores a título individual u organizados en pequeñas cooperativas o sociedades. Este hecho dificulta enormemente el control del volumen de extracciones y la planificación de las demandas hídricas en distintos horizontes temporales.

Se considera que la superficie de regadío en España supera los tres millones de hectáreas (en concreto 3.093.457 ha), según datos del Censo Agrario de 2009, último publicado por el INE (Instituto Nacional de Estadística). A pesar de la gran precisión con que se proporciona esta cifra, su cotejo con otros datos muestra la dificultad existente a la hora de cuantificar la extensión real de las superficies de riego. Así, según el anuario estadístico del INE para 2012, la superficie en regadío a fecha de 2009 es de 3.677.300 hectáreas, habiéndose utilizado para obtener este dato un método de estimación estadística diferente al del Censo Agrario. Si nos remontamos atrás en el tiempo, la superficie regada en el territorio nacional en el año 1980 era, según el Ministerio de Agricultura y Pesca, de 3.029.500 hectáreas (Pazos Gil, 1982), prácticamente igual al dato del Censo Agrario de 2009; lo cual, en caso de que ambos datos fuesen rigurosos, desacreditaría en gran parte la afirmación con que comienza este texto.

La carencia de datos detallados, sistemáticos y fiables sobre usos y demandas de agua condiciona el conocimiento del aprovechamiento actual y futuro del agua. La incertidumbre en los datos básicos relacionados con el uso del agua en agricultura, unida a la influencia de numerosos factores exógenos en la constitución de las demandas, hace que la previsión de las demandas futuras presente una especial dificultad, siendo frecuente encontrar desviaciones significativas entre las demandas inicialmente previstas y las finalmente resultantes (Erena, 2006).

El estudio de la evolución de la demanda agraria es uno de los aspectos más significativos en la planificación hidrológica debido al peso específico que representa dentro de la demanda global

de las cuencas mediterráneas. La estimación de la evolución de la demanda de agua en el tiempo es uno de los elementos que produce mayores desviaciones y errores en el proceso habitual de restitución del régimen natural de las series de aportaciones. Como consecuencia directa, la falta de cumplimiento de la planificación hídrica suele ocasionar efectos negativos de tipo ambiental, legal y social. Este tipo de problemas se manifiesta en mayor grado en las zonas con predominio en el uso de las aguas subterráneas, donde la planificación hidrológica se enfrenta a mayores dificultades y parte de datos más inciertos.

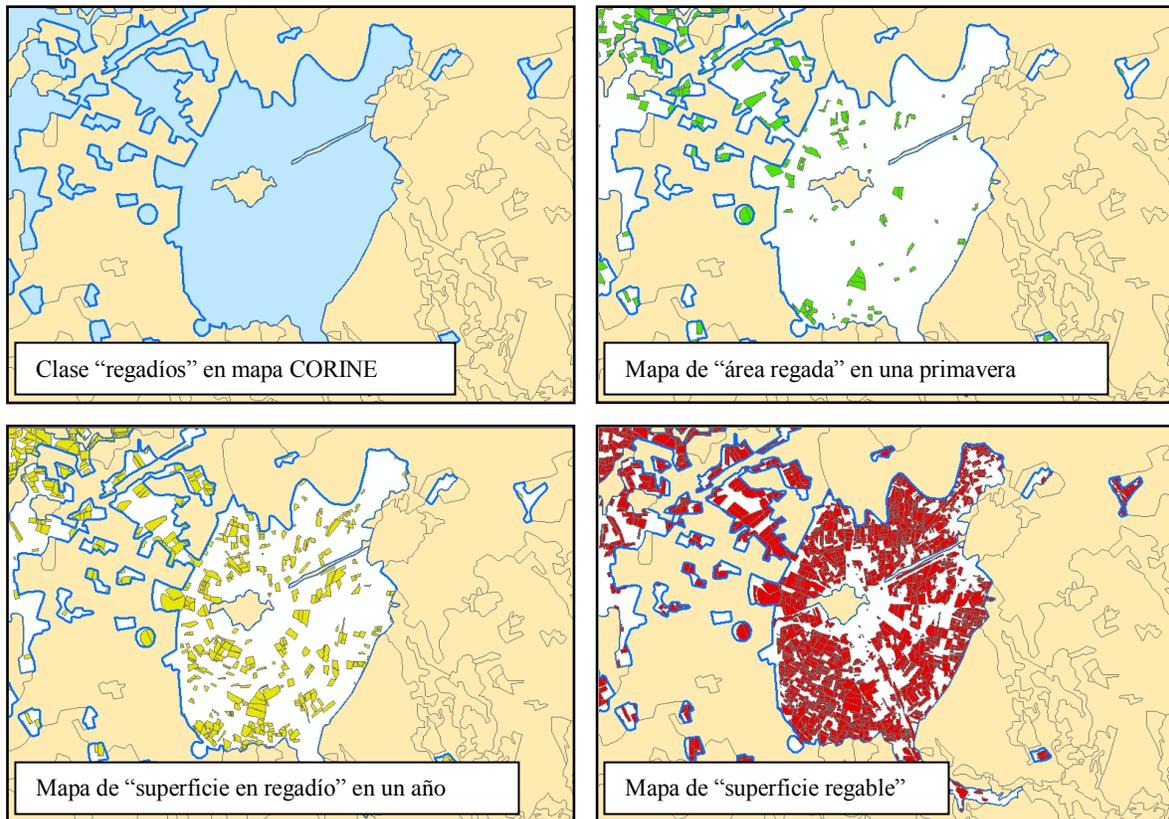
Habiendo reconocido la importancia de esta información, en los últimos años se han abordado diferentes tipos de estudios y proyectos para la mejora del conocimiento de la distribución de superficies regadas a partir de enfoques diversos. Uno de los principales objetivos de este texto es llevar a cabo un análisis comparativo entre los datos disponibles, para lo que resulta necesario matizar previamente los conceptos ligados a las cifras relacionadas con el regadío. Dentro de los trabajos para determinar la extensión de las superficies regadas -que abarcan estadísticas agrarias, mapas de cultivos elaborados con metodologías diversas y cartografía de usos del suelo-, resulta habitual que términos como, -regadío, área regada o superficie en regadío- se usen indistintamente, a pesar de que tienen significados muy diferentes (ver [figura 1](#)).

El término "regadío" se define como un terreno fertilizado para el riego. Sin embargo, cuando se alude al regadío como un uso de suelo, se hace referencia a una clase de uso que se representa gráficamente como una envolvente o polígono, donde la clase dominante son cultivos de regadío, pero donde pueden existir otras clases que por su poca abundancia o pequeño tamaño (depende de la escala de trabajo), no son representadas. Por tanto, los resultados relativos al regadío obtenidos por este tipo de estudios no pueden utilizarse en la cuantificación de la demanda a no ser que se matice la diferente densidad de superficie regada dentro de cada perímetro clasificado como regadío.

El "área regada" correspondería a los terrenos que se están regando en un momento determinado. Así, el área regada en un territorio durante la primavera es distinta del área regada durante el verano, ya que encontramos cultivos diferentes con variaciones significativas de ciclo fenológico y culturas agrícolas.

El concepto "superficie en regadío" corresponde a los terrenos realmente regados en un periodo de tiempo. Desde un punto de vista matemático, se define como el sumatorio espacial de áreas regadas que se suceden dentro de un periodo determinado. Así, si somos capaces de identificar los cultivos presentes a lo largo de un año dentro de una zona, la unión de todas las parcelas que aparecen cultivadas nos da la superficie en regadío para ese periodo (en este caso, un año). Lógicamente, el periodo de tiempo tratado en un análisis de superficie en regadío no siempre es anual, siendo necesario especificarlo cada vez que se proporciona un dato de este tipo.

Por último, la "superficie regable" se corresponde con toda aquella superficie que tiene potencialidad para ser regada, entendiéndose como potencialidad la existencia de acceso al agua y de sistemas de riego en condiciones de ser utilizados.



**Figura 1. Conceptos para la cuantificación del regadío.**

En la imagen superior izquierda, se representa el mapa de usos del suelo del proyecto CORINE LAND COVER, resaltando en color azul la clase cultivos regados de forma permanente. En la imagen superior derecha se muestra el mapa de área regada calculado para una primavera, que cubre una parte muy reducida del total de la clase de regadío. En la imagen inferior izquierda, se muestra el mapa de superficie en regadío, para un año completo. Por último, la figura inferior derecha, recoge la superficie en regadío calculada para un periodo de cinco años consecutivos, y que tiende a aproximarse al total de superficie regable.

A la hora de realizar cuantificaciones, estos conceptos no deben ser confundidos. Las *áreas regadas* se refieren a momentos concretos, y no dejan de ser una parte de la *superficie en regadío* en un determinado periodo, generalmente un año natural o un año hidrológico. Esta cifra permite la caracterización de la demanda hídrica real para la agricultura que ha existido en un periodo temporal concreto. Cuando la *superficie en regadío* se calcula para el conjunto de una serie temporal amplia de años consecutivos, el resultado tiende a acercarse a la *superficie regable*, que representa el conjunto de parcelas dotadas de infraestructura de riego y que determinan la demanda potencial máxima de un territorio. Por otro lado, la *clase regadío* resulta una aproximación al uso del suelo predominante en una zona, y supone, en muchas ocasiones, un incremento muy importante sobre la situación real.

## 2. Fuentes de datos disponibles para la cuantificación de superficies regadas en España

Los datos disponibles en la actualidad sobre superficies regadas o regables son obtenidos mediante metodologías muy variadas y deben ser interpretados teniendo en cuenta factores relativos a su origen, representatividad y finalidad. En este apartado, se describen las principales fuentes de datos utilizadas para cuantificar y analizar la distribución de las superficies regadas dentro de un territorio:

a) La fuente de datos más tradicional es el **catastro** de rústica, en el que las fincas agrarias aparecen anotadas como secanos o regadíos. El catastro se define como un registro administrativo, dependiente del Estado, donde se describen los bienes inmuebles, que deben ser inscritos de forma obligatoria. La clasificación existente en el catastro entre regadíos y secanos no responde a criterios hidrológicos ni está sujeta a ningún tipo de control ni actualización continua, siendo su fin principal el reconocimiento del valor económico adicional que se otorga a los terrenos con accesibilidad al agua para riego. El valor contributivo y catastral de los terrenos en regadío resulta superior al de las tierras arables de secano.

La cifra proporcionada por catastro debería considerarse como una aproximación a la superficie regable existente. No obstante, el dato catastral no implica que las parcelas declaradas como regadíos se encuentren realmente en riego, ni que parcelas catalogadas como secanos no puedan estar siendo regadas, ya que la decisión acerca de si una parcela se encuentra declarada como regadío o secano depende principalmente del propietario, por lo que muchos datos no se encuentran actualizados o simplemente no se corresponden con la realidad.

b) Otra fuente utilizada son los **mapas de usos del suelo**. Existe disponibilidad de este tipo de datos sobre toda Europa a través de los proyectos *CORINE*, que sirvieron para producir mapas de usos del suelo a escala 1:200.000 para el año 1990 y 1:100.000 para el año 2000; y para España, a través del proyecto *SIOSE* (Sistema de Información de la Ocupación del Suelo en España), mediante el cual generan mapas a escala 1:10.000, a partir de imágenes de satélite complementadas con trabajo específico de campo.

Estos mapas delimitan envolventes donde predomina el regadío en relación a otros usos del suelo, pero no deben ser empleados de forma directa para la planificación de la demanda hídrica, ya que la superficie total de las áreas asociadas a la clase "regadío" sobreestima las cifras reales de superficie regable y superficie en regadío. Además, su realización es laboriosa y lenta, hasta el punto que los mapas regionales del SIOSE, elaborados a partir de imágenes de los años 2005 y 2006, fueron entregados durante el año 2010, y durante 2013 se están usando datos de verano 2011 para realizar una actualización, aún sin fecha prevista de entrega.

Por otro lado, el antiguo Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM), generó el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos de España a escala 1:50.000 de los años 2000-2010, que contiene una cartografía que delimita y describe los cultivos y aprovechamientos del suelo de todo el territorio nacional. Esta información está disponible para su visualización a través de una página web, pero no para su descarga directa. Al igual que en el caso anterior, su principal

limitación radica en la indefinición espacial y temporal de los datos que contiene, que reduce su utilidad para estudios hídricos.

c) La necesidad de datos más precisos para la planificación y control de políticas agrarias e hídricas ha empujado a la utilización de **censos agrarios** como fuente de datos específicos y ajustados a periodos concretos. Estos censos recogen un dato que se sitúa a medio camino entre los conceptos de superficie en regadío anual y superficie regable.

Para intentar aproximar las cifras estimadas por las estadísticas al concepto de *superficie regada en cada año*, se suelen utilizar las denominadas "hojas 1T", que recogen estimaciones de la superficie existente de cada tipo de cultivo. Este dato se basa en recopilaciones efectuadas por las Cámaras Agrarias locales y comarcales de acuerdo a las declaraciones y formularios de solicitud de ayudas para la PAC (Política Agraria Común) de los agricultores de la zona.

d) Con ánimo de obtener datos actualizados para cada campaña anual de riego y disponibles con plazo de respuesta cortos, se emplean también procesos **estadísticos**, basados en encuestas y/o muestreos de campo.

La metodología más generalizada es la basada en los *marcos de muestreo*, que se basa en la inferencia estadística a un territorio más amplio de los datos de superficies de los cultivos existentes dentro de marcos regulares (teselas cuadradas) distribuidos aleatoriamente en el conjunto de la zona de interés. La muestra debe ser representativa, desde un punto de vista estadístico, del total de superficie cultivada existente. La estimación de la superficie total se realiza a través de procesos estadísticos basados en la expansión de la muestra, en muchos casos mediante un proceso de tipo directo. Este método se complementa, en ocasiones, con el tratamiento de imágenes de satélite, que sirven para delimitar las superficies regadas y ajustar la expansión de la muestra: si bien la dificultad existente en la determinación de las superficies regadas produce a su vez una desviación, que puede llegar a ser muy considerable dependiendo de la tipología de los cultivos de la zona. El porcentaje de superficie cubierto por la zona de muestreo aumenta en las zonas donde se conoce la existencia de una mayor cantidad de superficie agrícola. A partir de los datos detallados de las zonas muestreadas (entre el 2% y el 5% de la superficie total), el método estadístico debería permitir una estimación fiable de la cifra global ocupada por cada tipo de cultivo muestreado.

Los datos obtenidos a partir de las estadísticas basadas en marcos de muestreo proporcionan información relacionada con la cantidad de superficie en regadío existente, con la ventaja de que se encuentra disponible en fecha próxima a las campañas de riego. Como contrapartida, no se obtiene la distribución de los cultivos sobre el territorio, sino únicamente una cifra estimada acerca de la superficie ocupada por cada uno. Esta cifra está sujeta a una incertidumbre inherente a la metodología estadística empleada y que habitualmente no se especifica. En este sentido, el intervalo de confianza asociado a cifras obtenidas a partir de este método puede ser amplio, lo cual produce variaciones significativas en los datos de una serie de años sucesivos.

En España, otra fuente de datos complementaria son las *encuestas agrarias*, cuyo objetivo es obtener datos estadísticos generales acerca de la situación de la agricultura española y analizar la evolución estructural de las explotaciones agrícolas. Para los últimos años, encontramos disponibles

datos en los informes de Estructura de las Explotaciones Agrícolas (EEA), realizadas por muestreo en los años 2003, 2005 y 2007, y que se volverá a repetir en 2013, y en el Censo Agrario, elaborado con carácter decenal y disponible para el año 2009. En ambos casos se recogen datos correspondientes al aprovechamiento de las tierras en regadío, tanto datos de superficie regada en el año de referencia de la encuesta como de superficie regable dentro de las explotaciones muestreadas.

e) Con objeto de conseguir una mayor fiabilidad y dotar de representación espacial a las cifras obtenidas, en los últimos años se han generalizado los **mapas de distribución de cultivos** realizados a escala de detalle, utilizando como base cartográfica la representación gráfica de las parcelas catastrales. La elaboración de este tipo de mapas se apoya en trabajos de fotointerpretación y visitas de campo.

En algunas zonas del territorio se han elaborado mapas de cultivos y aprovechamientos de detalle basados en trabajos intensivos de campo, en los que se recorren todas las parcelas catastrales existentes en una zona, anotando datos de acuerdo a un modelo previamente definido. Estos mapas resultan, sin duda, la fuente de datos más fiable, con un margen de error reducido. Este tipo de mapas no son muy frecuentes ya que su elaboración resulta un proceso costoso (tanto desde el punto de vista económico como de tiempo y esfuerzo necesario), debiendo ser sometidos a actualizaciones anuales si se quiere mantener la calidad de la información que se obtiene a partir de ellos.

Para cultivos de tipo permanente, fundamentalmente cultivos de porte arbustivo o arbóreo, se han elaborado varios sistemas de información a partir de fotointerpretación de fotografía aérea ortorrectificada, apoyados en trabajos de campo. El proyecto pionero en esta línea fue el denominado "SIG Oleícola", en el que a partir de un vuelo realizado sobre la totalidad del país en el año 1997, se identificaron las parcelas ocupadas por olivares. Esta línea de trabajo se continuó con el "SIGPAC", donde se realizó la fotointerpretación de los usos del suelo presentes en el territorio nacional empleando una leyenda temática centrada en los usos agrícolas. Más recientemente algunas comunidades autónomas han desarrollado Sistemas de Información específicos para otros cultivos, como viña, frutales o cítricos, en los que se recogen una serie de datos de interés asociados a la localización de cada parcela. Este tipo de mapas se centra en determinados cultivos y requieren de la disponibilidad de ortofotografía actualizada y de detalle para su creación y actualización.

Por último, encontramos mapas de cultivos que han sido elaborados a partir de datos de tipo alfanumérico. Este caso se corresponde principalmente con registros o inventarios que se encuentran en continuo cambio y a los que se les ha asociado una componente espacial. Un ejemplo son los registros vitícolas, en donde a partir de un inventario que recoge datos de parcelas de viña, empleado para la gestión de producción y de las ayudas por reestructuración o arranque, se han elaborado mapas que representan la distribución de las parcelas en el territorio. Este tipo de mapas presenta la ventaja de una mayor actualización, si bien en muchas ocasiones la conexión entre datos alfanuméricos y espaciales no resulta posible o presenta errores, lo que limita su aplicabilidad. Por otro lado, los datos empleados para la gestión no siempre incluyen el total de las parcelas existentes.

f) Finalmente, hay que considerar el empleo de la **teledetección**, que permite utilizar las imágenes de satélite para observar la evolución de los usos del suelo y analizar la distribución de

superficies regadas. Las especiales características de la teledetección espacial (resolución espacial, temporal, espectral, angular y radiométrica) la convierten en una fuente de datos potente, dinámica y objetiva para la planificación y gestión del uso de los recursos hídricos, que fomenta la transparencia y la posibilidad de una mayor participación pública (López-Gunn *et al.*, 2012). En la actualidad, el uso de la teledetección es asequible en relación a otras fuentes de datos y permite estimar con precisión y rapidez la distribución de superficies regadas (Montesinos y Bea, 2008), ofreciendo un gran rendimiento en términos de eficiencia temporal y relación "información obtenida / coste".

Más adelante nos centraremos en el análisis de las posibilidades de la teledetección y técnicas de información geográfica para la elaboración de mapas de cultivos en regadío con objeto de estimar la demanda hídrica de un territorio. En los siguientes apartados se ahonda en estos aspectos.

### 3. Uso de técnicas de teledetección para la determinación de superficies regadas

Las técnicas geoespaciales, y especialmente la teledetección, han abierto un importante abanico de posibilidades dentro del campo de la agricultura, principalmente en forma de aplicaciones, en muchos casos operativas, relacionadas bien con la gestión directa de los cultivos, bien con la obtención de datos agronómicos de interés. El desarrollo de estudios y aplicaciones basadas en el empleo de datos de teledetección en el campo de la agricultura ha sido muy amplio en las últimas décadas, cobrando una importancia creciente (Thomasson, 2003).

Sin embargo, los resultados de un reciente proyecto de investigación (Ozdogan *et al.*, 2010) arrojan una cifra exigua de 65 trabajos publicados en *revistas de impacto* basados en el uso de la teledetección para la determinación de superficies regadas, frente a los miles existentes para el análisis de características agrícolas y la cartografía de usos del suelo. Estos autores justifican esta situación a causa de una mayor complejidad asociada a este tipo de estudios, que se motiva por la necesidad de combinar adecuadamente el componente técnico y metodológico con un conocimiento práctico y operativo de las características, dinámica y calendario del riego de cultivos. Compartiendo esta afirmación, consideramos que resulta necesario introducir **conceptos operativos y metodológicos** específicos para poder optimizar el potencial de las técnicas de información geográfica en la discriminación del riego en los cultivos.

#### 3.1. Aspectos operativos

Las cubiertas vegetales en regadío, en estado de desarrollo óptimo y ausencia de estrés hídrico, se caracterizan por presentar altas tasas de actividad fotosintética, debido a que la disponibilidad de agua no aparece como factor limitante; por una mayor densidad de cubierta vegetal frente al mismo cultivo en secano, que a menudo queda, además, reforzada por una mayor densidad de siembra o un marco de plantación más reducido; y por un mayor contenido en agua en hojas y estructuras vegetativas. Los efectos que el riego produce sobre el cultivo son generalmente suficientes para posibilitar su discriminación a partir de las respuestas registradas en imágenes de

satélite, siempre y cuando se trabaje con datos de partida y bajo criterios adecuados. La estimación de superficies de regadío mediante teledetección en una zona de estudio presenta unas consideraciones generales y condiciones de aplicación que deben ser tenidas en cuenta a la hora de generar e interpretar los resultados obtenidos:

- *Ciclo vegetativo de los cultivos existentes en la zona de estudio.* El análisis del desarrollo vegetativo de los cultivos existentes permite determinar las fechas de imágenes de satélite, necesarias y suficientes, que se deben utilizar para identificar dichos cultivos. Así, un cultivo herbáceo será captado por el sensor, siempre que haya alcanzado un desarrollo vegetativo suficiente para que cubra el suelo y la señal captada sea la de la vegetación y no la del suelo o mezcla de ambas. En un cultivo leñoso la situación es similar, y plantas muy jóvenes con una masa foliar pequeña generalmente no podrán ser identificadas, ya que el sensor va a captar una señal mayoritariamente de suelo y no de vegetación.
- *La heterogeneidad de la zona de estudio.* Esta característica condiciona significativamente las prácticas agrícolas existentes en la zona, que por regla general se adaptan a la variabilidad existente. La diversidad climática y de condiciones ambientales debe considerarse en el diseño metodológico. Debe tenerse en cuenta que en áreas no demasiado alejadas entre sí, la evolución fenológica y las prácticas agrícolas sobre un mismo cultivo pueden presentar diferencias considerables. En zonas de alta heterogeneidad puede resultar necesario realizar procesos de segmentación del territorio y trabajar con un mayor número de imágenes.
- *El grado de parcelación.* Un elevado grado de parcelación y un tamaño reducido de las parcelas condiciona la existencia de píxeles de borde, donde se produce la mezcla de 2 o más clases espectrales. Esto hace que la respuesta registrada en las parcelas no tenga una distribución unimodal, lo que dificulta la extracción de información mediante clasificadores multiespectrales.
- *Tamaño de la zona de estudio.* Esta característica va a condicionar el tipo de imágenes de satélite que vamos a adquirir, en términos de coste económico y escala de trabajo.
- *Escala de trabajo.* Los resultados derivados de teledetección presentan una escala final de trabajo derivada de la resolución espacial de las imágenes de partida. La escala de trabajo de los mapas finales debe ajustarse a las necesidades de los usuarios de la información generada.

Existen numerosos trabajos y estudios relacionados con la obtención de mapas de superficies regadas a partir de teledetección. Así, resulta posible encontrar desde un mapa global de superficie regada en el planeta, elaborado a partir de técnicas de teledetección por el IWMI (*International Water Management Institute*) con una resolución de 10 km y basado en la integración de series temporales de datos (Thenkabail *et al.*, 2006), hasta trabajos realizados sobre áreas reducidas a partir de vuelos multiespectrales o hiperespectrales de muy alta resolución espacial efectuados en una fecha concreta.

Dentro de España, los estudios para la cuantificación de superficies regadas (Montesinos, 1990; Barón, 1999; Bea *et al.*, 2003; Montero *et al.*, 2005...) se encuentran generalmente enfocados en cuencas hidrográficas, subcuencas, unidades hidrológicas ó áreas de actuación de comunidades de usuarios de aguas superficiales o subterráneas, empleándose datos provenientes de sensores de alta resolución (Landsat, SPOT, IRS...) y generándose mapas con leyendas temáticas variadas y escalas métricas de trabajo entre 1:50.000 y 1:150.000. Estas escalas de trabajo se consiguen a partir del uso de imágenes de alta resolución (de 10 a 60 metros de resolución espacial), las cuales, se han posicionado como la alternativa más extendida, a nivel mundial, para acometer estudios de cuantificación de superficies regadas en el ámbito regional (GEO, 2007).

Sin embargo, nos encontramos en una situación en la que, aunque la tecnología se encuentra disponible y existen metodologías desarrolladas y validadas, el empleo de técnicas de teledetección para la cuantificación de superficies regadas no se encuentra ampliamente extendido. A pesar de la importancia del conocimiento de la distribución de las superficies regadas, y de que la teledetección es una herramienta efectiva, rápida y económica para obtener este tipo de información, en muchos de los organismos públicos con competencias en agua y agricultura, estos datos no existen o no están disponibles (Llamas, 2006). La barrera existente entre científicos y gestores resulta evidente, y no podrá ser derribada mientras no se ponga mayor énfasis en la necesidad de adaptar los resultados a las necesidades de los usuarios, no se realicen validaciones de la calidad de los mapas proporcionando intervalos de confianza ajustados, y no se diseñen aproximaciones metodológicas ajustadas a las condiciones particulares de cada territorio.

En este sentido, los trabajos deben dar especial importancia al componente operativo, enfocándose en la generación de información de calidad contrastada sobre la totalidad del ámbito de estudio y bajo restricciones críticas como el coste económico o el plazo de ejecución. El carácter operativo implica que, necesariamente, los beneficios que los gestores pueden extraer de la información suministrada superen ampliamente a su coste de obtención, siendo además más reducidos o más eficientes que los asociados a otras posibles metodologías.

### 3.2. Aspectos metodológicos

El conjunto de estudios orientados al planteamiento de metodologías genéricas para la discriminación de cultivos resulta muy variado, englobándose la discriminación de cultivos regados dentro de esta temática.

Se pueden abordar distintas metodologías operativas para la cuantificación de las superficies en regadío detectadas por teledetección, que principalmente se basan en la clasificación multispectral o en el cálculo de índices espectrales (Montesinos y Bea, 2008; Ozdogan *et al.*, 2010), existiendo igualmente enfoques mixtos. En todos los casos, debe asumirse que el riego puede ser detectado debido, bien a la necesidad de esta práctica para la supervivencia del cultivo en las condiciones ambientales existentes, bien por los propios efectos que produce sobre los cultivos.

En este apartado se presenta un método genérico orientado a la determinación de la distribución de superficies de cultivos en regadío dentro de un ámbito de trabajo, en el que se tienen

presentes los condicionantes operativos introducidos con anterioridad. Esta metodología (Bea, 2011) se apoya además en dos aspectos cuya aplicación no se encuentra suficientemente extendida: la integración de la teledetección con otras fuentes de datos auxiliares y la puesta en valor del conocimiento territorial.

El desarrollo metodológico propuesto se basa en la integración de datos geográficos con objeto de obtener información acerca de la distribución de cultivos regados, aplicándose bajo diferentes condiciones y datos de partida dependiendo de las características de los tipos de cultivos en riego y su calendario fenológico. En todos los casos, la capacidad de discriminación del riego se optimiza al trabajar en un contexto amplio que engloba análisis de tipo **multiespectral, multitemporal y multicriterio**.

#### A) Análisis multiespectral

Las técnicas de proceso digital de imágenes de satélite muestran un elevado potencial para la discriminación de cultivos regados, permitiendo la obtención de información georreferenciada, actualizada, cuantificada y sinóptica sobre amplios territorios. El coste de adquisición y tratamiento de los datos obtenidos a través de sensores remotos mejora al de otras técnicas más convencionales, sobre todo cuando la extensión del área analizada abarca un ámbito regional.

La utilidad de estos datos se sustenta en su carácter multiespectral, siendo las bandas contenidas en las regiones del rojo visible y del infrarrojo cercano, las que aportan una mayor información. El aumento de resolución espectral y la disponibilidad de datos en regiones concretas del espectro, como la zona del azul, del "red edge" y del infrarrojo medio, pueden resultar de gran utilidad para el cálculo de índices y algoritmos centrados en la determinación del riego. Sin embargo, la obtención de este tipo de datos sobre superficies amplias tiende a imponer un coste excesivo de adquisición, que limita su uso en un marco operativo.

#### B) Análisis multitemporal

El uso de un mayor número de fechas en el análisis supone un elemento de mejora en el proceso de determinación de cultivos regados. El carácter multitemporal puede incluirse en dos escalas distintas:

- Escala intraanual: en donde se toman imágenes a lo largo del periodo de desarrollo y senescencia de los cultivos. La discriminación de los cultivos suele basarse en el estudio de la variación de su respuesta espectral en las diferentes bandas, a lo largo del conjunto de su ciclo fenológico. La capacidad de determinación del riego y de la identificación de cultivos depende de las características de los restantes cultivos y cubiertas vegetales, siendo oportuno realizar un análisis previo para determinar las fechas óptimas de adquisición de las imágenes. Además, cuando las prácticas agrícolas típicas (como el uso de plásticos o el riego por encharcamiento) puedan aportar información valiosa acerca del tipo de cultivo

presente no debe desecharse la posibilidad de utilizar imágenes de fechas tempranas, en las que el cultivo se encuentra en su fase de nascencia o de desarrollo incipiente.

- Escala multianual: en donde se usan imágenes de una serie amplia de años previos a la campaña agrícola en la que se trata de caracterizar la presencia de riego. Esta aproximación puede resultar más evidente para cultivos leñosos, forrajeros o en invernadero, con un cierto carácter permanente. No obstante, también permite detectar diferentes tipos de rotaciones de cultivos anuales en las parcelas agrícolas, lo que puede llegar a proporcionar una evidencia clara relacionada con la existencia de riego. El conocimiento de la dinámica temporal de evolución del riego en un territorio es un factor que ayuda al estudio multianual, facilitando la búsqueda de indicios relacionados con la identificación de las superficies regadas.

### C) Análisis multicriterio

El uso de imágenes de satélite permite la determinación de la existencia de riego siempre que las características de resolución espacial, temporal y espectral, se adapten a las características del cultivo y de la tipología de riego. La teledetección presenta limitaciones inherentes a su empleo, por lo que debe ser vista como una técnica que proporciona una aproximación al conocimiento de las características de un territorio y que se encuentra asociada a un grado de fiabilidad. Esta fiabilidad resulta muy alta cuando se trata de determinar cultivos de alto consumo, con un gran desarrollo foliar y que ocupan parcelas extensas, pero se reduce de forma ostensible si se trata de utilizar imágenes de alta resolución para detectar riegos de apoyo en cultivos herbáceos o riegos en cultivos leñosos con baja cubierta vegetal sobre el terreno.

La información derivada del tratamiento digital de las imágenes puede ser complementada con otros datos geográficos con objeto de mejorar la calidad de los resultados. La integración de datos a partir de técnicas de análisis espacial proporciona un enfoque de mayor amplitud y de comprobada utilidad, que es reflejado en manuales de referencia (Richards, 1986). Muchos datos relacionados con la existencia de riego en una parcela pueden ser ligados a una referencia espacial, lo cual permite su integración en el marco de un Sistema de Información Geográfica. En muchas ocasiones, los datos de interés corresponden a elementos no-numéricos que guardan relación con la descripción de las características de un territorio, de las parcelas agrícolas, o de información relacionada con prácticas de gestión. Este tipo de datos engloba mapas geológicos, de tipos de suelo, de hidrología o de accesibilidad al agua, así como inventarios relacionados con medidas de gestión hídrica o ligados a políticas de planificación.

El empleo de datos geográficos como apoyo en el proceso de identificación del riego en parcelas agrícolas presenta dos dificultades principales que resulta necesario abordar: la transformación de los datos de tipo descriptivo en variables de tipo numérico y la optimización del proceso de combinación de los diferentes datos disponibles. Ambos aspectos pueden ser abordados a partir de técnicas de evaluación multicriterio (Rodríguez Esteban *et al.*, 2003) que permiten la ponderación óptima de diferentes datos geográficos dentro de un proceso orientado a la categorización de zonas del territorio y a la toma de decisiones.

El desarrollo metodológico que se propone, se dirige al uso de técnicas de información geográfica para la obtención de información, en forma de mapas de distribución de cultivos regados. El esquema metodológico se divide en tres partes, centradas en:

- el diseño y adquisición de datos,
- el propio desarrollo metodológico para la obtención de información temática y
- el análisis y validación de resultados.

### 3.2.1. Diseño de la metodología

La fase de diseño se centra en la recopilación de datos agronómicos y territoriales que permitan caracterizar la cultura agrícola del ámbito de estudio. Como primer paso de la fase de diseño se debe llevar a cabo una agrupación de los diferentes cultivos en riego presentes en la zona de trabajo. Esta agrupación responderá a características de fenología, fenotipo, fracción de cubierta vegetal, extensión, abundancia relativa, consumo estimado y efectos del riego sobre los cultivos. Como dato adicional, se recomienda detallar las prácticas agrícolas asociadas a los principales cultivos en riego.

Para cada una de las grandes tipologías de cultivo, se realizan procesos de segmentación territorial con el objetivo de poder aplicar la metodología de trabajo sobre zonas donde los cultivos presenten ciclos de desarrollo uniformes y las variables estadísticas que conforman la base del proceso de toma de decisión puedan considerarse como extrapolables al conjunto de cada segmento. Este tipo de procesos permiten un mejor ajuste en la aplicación de la metodología a las características del territorio.

Gracias a la base proporcionada por la segmentación de cultivos y la segmentación territorial, se optimiza el proceso de adquisición de datos que alimenten el proceso metodológico. Los datos de partida deben proporcionar información temporal, espacial, espectral y temática suficiente para la elaboración de un mapa de cultivos regados dentro del conjunto de la zona de estudio. Con este fin, se lleva a cabo el proceso digital para la integración de diferentes datos obtenidos por sensores remotos, con otros de apoyo que comprenden: observaciones específicas realizadas en campo, información relacionada con las características de las parcelas o de tipo administrativo, inventarios y análisis de cambios acaecidos en los últimos años. Todos los datos adquiridos deben tener relación con criterios asociados a la probabilidad de presencia de riego y una distribución espacial, no debiendo descartarse ningún dato relacionado a priori con la existencia de riego, aunque su uso no resulte convencional en estudios basados en teledetección.

### 3.2.2. Desarrollo metodológico

El **desarrollo metodológico** se basa en la integración de datos territoriales en un contexto multitemporal, multiespectral y multicriterio, usando datos tomados en campo como referencia.

Esta aproximación permite la extracción de información temática relacionada con la existencia de riego en parcelas ocupadas por los diferentes grupos de cultivos presentes en la zona.

Las segmentaciones territoriales permiten aplicar las metodologías, de forma separada, en zonas donde las variables agronómicas y espaciales presenten una mayor uniformidad. Así, las decisiones relacionadas con la probabilidad de que una parcela se encuentre en riego, se toman siguiendo unos criterios comunes para toda la superficie dentro de cada unidad territorial. En cada una de estas zonas, se asume que las características de los cultivos son mucho menos heterogéneas que en el conjunto del ámbito regional de trabajo. Para que los criterios establecidos en relación a la toma de decisiones se consideren extrapolables, la toma de datos de campo debe ser significativa y representativa para cada unidad.

El proceso metodológico se desarrolla a través de cuatro fases genéricas que, obviamente, presentarán singularidades propias y un diferente grado de complejidad, dependiendo del grupo de cultivos contemplado:

- i) En primer lugar, se procede a la *segmentación de las parcelas* de interés, de forma que el proceso de discriminación de la existencia de riego o de la identificación de tipos de cultivos se limita, en cada caso, a un conjunto diferente de parcelas agrícolas ocupadas por los cultivos de referencia.

Dentro de esta segmentación se recomienda la integración de datos captados por sensores remotos con cartografías de detalle, como puede ser la cartografía de delimitación de las parcelas catastrales. El apoyo en este tipo de datos aporta dos grandes ventajas, como son, por un lado, la mejora sustancial de la escala de trabajo (que puede llegar a pasar del 1:150.000 asociado a las imágenes Landsat, a una escala de detalle de 1:5.000) y, por otro lado, la referenciación de las unidades de trabajo a las unidades prácticas de gestión agronómica ligadas a la propiedad del terreno.

La segmentación de parcelas puede basarse en el tratamiento digital de imágenes de satélite de alta o muy alta resolución espacial y en procesos de fotointerpretación. La adecuación de los mapas obtenidos a una referencia cartográfica de mayor detalle gráfico se puede automatizar en gran parte, aunque se recomienda realizar procesos de edición manual en los casos más complicados, que pueden localizarse en muchas ocasiones a partir del cálculo de variables propias del análisis textural.

- ii) En segundo lugar, se definen *criterios relacionados con la probabilidad de existencia de riego o con la identificación de cultivos*. Estos criterios de aptitud se crean en forma de mapas ráster que toman valores para todas las parcelas extraídas en el proceso previo de segmentación.

Los criterios o mapas de aptitud cuantifican la predisposición del terreno para la localización del uso considerado en función de alguna de sus características o de los usos

del suelo previamente existentes. La definición de estos criterios resulta un aspecto clave del proceso, y debe basarse en la respuesta razonada a la cuestión de: ¿cuáles son las variables de tipo geográfico y territorial que inciden de manera significativa en la probabilidad de existencia de riego en una parcela ocupada por un determinado tipo de cultivo? (Eastman *et al.*, 1993).

Los valores de aquellos criterios de tipo cualitativo, deben ser transformados a valores numéricos para lo cual se recomienda el uso de métodos que maximicen la objetividad del proceso; lo que se puede conseguir mediante la adaptación del método a una serie de varios años de estudio (Bea, 2011). Este esfuerzo permite una mejora apreciable de los resultados.

- iii) Los mapas de aptitud conforman la base para la *caracterización de la probabilidad* de existencia de riego o de la tipología de cultivos, a través de un enfoque de integración de criterios. Esta integración se consigue a partir de una regla que permita su combinación de forma que se optimice la capacidad de decisión. Esta regla de decisión se define como el procedimiento que permite la obtención de una evaluación particular a partir de un conjunto de criterios (Gómez y Barredo, 2005).

El resultado de la aplicación de las reglas de decisión es un conjunto de coeficientes de ponderación que permiten la combinación de los diferentes criterios con objeto de obtener información relacionada con la solución del problema propuesto. Así, basándonos en la regla de decisión, la unión de los criterios (tanto mapas de aptitud como restricciones) nos permite obtener mapas de idoneidad para la ubicación de cada categoría del mapa de distribución del riego. De manera general, las reglas de decisión pueden agruparse en dos categorías según estén basadas en aproximaciones objetivas o subjetivas (Barba-Romero y Pomerol, 1997).

Los métodos derivados de juicios de valor con un cierto componente subjetivo resultan los más empleados dentro de los procesos de evaluación multicriterio, fundamentalmente debido a la imposibilidad a la que deben enfrentarse muchos estudios para cuantificar a partir de datos medibles las variables críticas en la evaluación y su importancia relativa. La aproximación subjetiva queda sujeta a una fuerte incertidumbre y puede resultar poco precisa, así como desligada de la variabilidad local en las características del territorio. En el caso de la discriminación del riego, la disponibilidad de muestra de datos de campo puede ser empleada para llevar a cabo una ponderación relativa de los criterios sobre un componente objetivo, lo que resulta siempre recomendable.

- iv) Por último, se concluye con el proceso de *toma de decisión* asociado a la identificación de tipos de cultivos o de la existencia de riego. Se debe realizar una evaluación de las alternativas posibles, generando información relacionada con la probabilidad que tiene cada parcela de haber sido puesta en regadío. En este punto, hay que resolver una cuestión crítica: *¿cuál es el nivel mínimo de probabilidad a partir del cual consideraremos que una parcela se encuentra en regadío?*

En este sentido, hay que tener en cuenta que el modelo usado no llega nunca a explicar con total precisión la distribución del riego en función de las variables consideradas, no siendo las poblaciones de parcelas en riego y en secano perfectamente separables desde un punto de vista estadístico. Por ello, resulta necesario determinar cual es el valor umbral de probabilidad que determina, de la manera más ajustada posible, la existencia de cultivos en regadío. Con este fin, hay que apoyarse en datos recogidos en campo, que nos permitan relacionar los resultados de la modelización con la situación real apreciada dentro de cada unidad territorial.

### 3.2.3. Validación de resultados

Cualquier cuantificación de variables territoriales debe asociarse a un proceso de validación que permita estimar la precisión y fiabilidad de la representación gráfica y de las cifras obtenidas. Sólo de esta manera, las conclusiones y decisiones basadas en la información generada podrán tener validez y aplicación directa, siempre que se ajusten a las condiciones de escala y calidad de la información base. La validación se debe siempre realizar a partir de la comparación de los resultados con datos tomados en campo y exponerse en forma de datos numéricos relacionados con la *precisión de identificación* para los diferentes cultivos en regadío, así como con la robustez de los procesos metodológicos empleados.

Los mapas de cultivos obtenidos mediante técnicas geográficas y que se usan en el siguiente apartado para el análisis comparativo de resultados, presentan una calidad variable que depende del tipo de cultivo, de las características propias de la zona de estudio y de los datos de partida y número de años consecutivos en que se haya podido aplicar el proceso metodológico.

Para los cultivos leñosos de alta dotación (frutales de hoja caduca y leñosos), el grado de acierto a escala de parcela se sitúa entre el 90 y 95%. Para los cultivos leñosos de baja dotación (viña, olivo, almendro,...) esta cifra se reduce a un rango entre el 70% y 90%. El riego de cultivos herbáceos durante el verano se detecta en la práctica totalidad de los casos, mientras que para las restantes estaciones del año, en las que las dotaciones empleadas son menores y el contraste con la vegetación natural también se reduce, la precisión en la identificación del riego oscila entre el 85 y 95%. Estas cifras incluyen tanto errores de omisión como de comisión, que a la hora de obtener una cuantificación de la superficie regada en un territorio tienden a compensarse entre sí, lo que ayuda a que la estimación de esta variable sea más precisa.

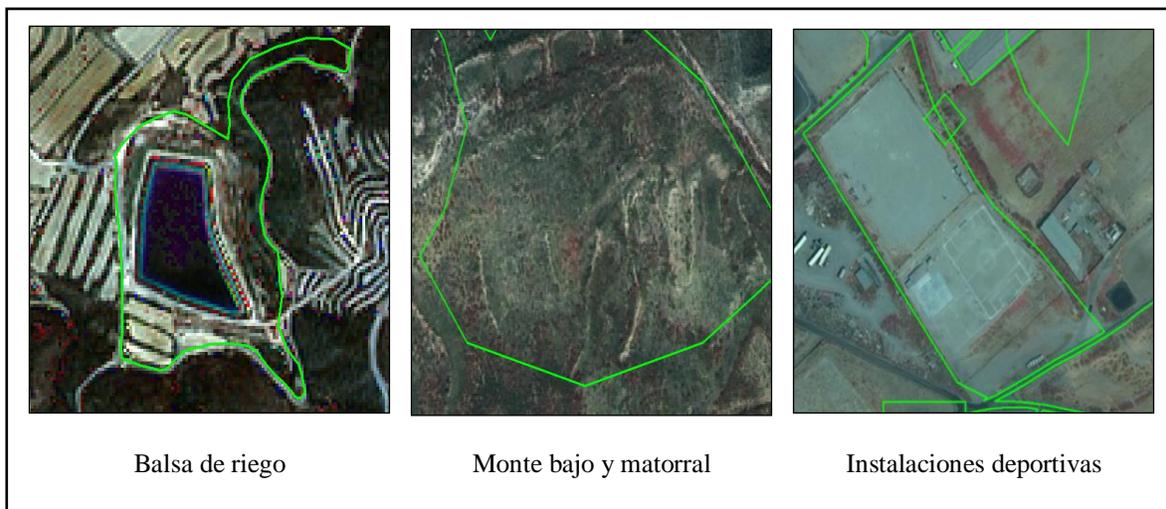
## 4. Comparación y discusión de resultados obtenidos a partir de diferentes fuentes de datos

La extensión del uso de la teledetección para la cuantificación y delimitación de superficies regadas dependerá de su capacidad competitiva frente otras fuentes de datos, para lo cual hay que tener en cuenta factores relacionados con la calidad de la información, así como con su coste y plazo de generación. En este apartado se presenta una comparación entre resultados obtenidos en varios estudios de teledetección, realizados a partir de adaptaciones de la metodología genérica

propuesta, y datos recopilados de las restantes fuentes disponibles. Las comparaciones se realizan dentro de zonas donde el origen del agua de riego es mayoritariamente subterráneo y en las que aparecen problemas de sobreexplotación, por lo que el conocimiento de la situación hídrica real cobra aún mayor importancia.

**a) Datos catastrales:** El catastro actual de rústica no es una fuente de datos fiable para establecer la demanda hídrica de una cuenca. La cifra numérica, así como la distribución geográfica que nos ofrece, no hace referencia ni a la superficie real ni a la superficie potencialmente en regadío, sino a lo que administrativamente ha sido declarado en algún momento como tal.

Con objeto de respaldar esta afirmación, se recogen los resultados obtenidos en un estudio de carácter interno realizado por la Confederación Hidrográfica del Segura en la unidad hidrogeológica de Mazarrón. En el análisis comparativo entre los datos catastrales y un mapa de superficie regada obtenido a través de teledetección, se observó que de 9.980 hectáreas declaradas en catastro como regadío, un 43% eran coincidentes con superficies en regadío durante el año estudiado por teledetección, un 22% se correspondían con parcelas agrícolas donde en ese año no se observó riego y hasta un 35% se situaba en zonas donde se comprobó la existencia de usos del suelo no agrícolas. Además, cerca de 1.200 hectáreas identificadas en regadío en el estudio de teledetección (más de un 20% del total) no aparecían etiquetadas como tal dentro del catastro de rústica. En la [figura 2](#) se muestran varios ejemplos del tipo de parcelas identificadas de forma errónea como "regadíes" de acuerdo al Catastro de esta zona.



**Figura 2. Ejemplos de errores potenciales en la identificación de superficies regadas a partir de datos catastrales.**

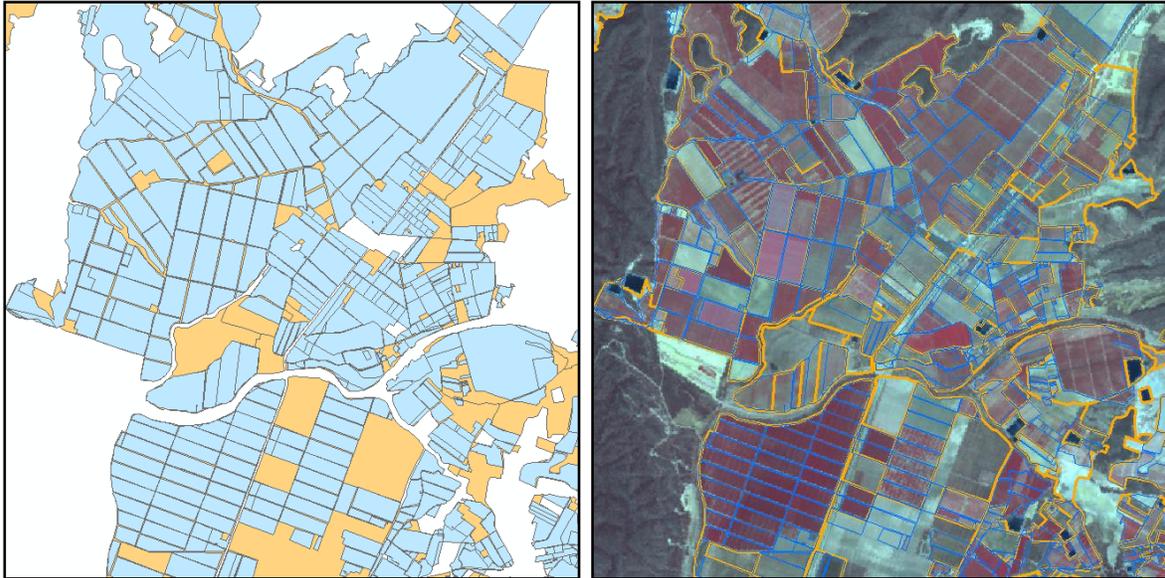
**b) Mapas de usos del suelo:** Dentro de la categoría de regadío, este tipo de mapas recoge poligonales amplias en las que el riego es el uso mayoritario del suelo. No obstante, no se puede considerar que la totalidad de estas superficies correspondan a cultivos regados, ya que se sobredimensionaría tanto la superficie en regadío durante una campaña, como incluso la superficie regable. Los mapas de usos del suelo tienen un carácter estático que limita además su aplicabilidad para el cálculo de demandas, aunque sí aportan datos de utilidad para la ordenación y planificación territorial.

Para profundizar en esta idea, se muestra la comparación entre los datos más actualizados de usos del suelo de los que se dispone (mapa del proyecto SIOSE) y mapas de cultivos en riego obtenidos por teledetección en las unidades hidrogeológicas del Sinclinal de Calasparra y Ascoy-Sopalmo, situadas en la región del Altiplano de Murcia (ver [Tabla 1](#)). Se ha elegido esta zona debido a que predominan los cultivos de hueso y cítricos, que son identificados con mucha precisión a partir de técnicas geográficas, dado su carácter permanente y su alto desarrollo foliar.

**Tabla 1. Ejemplo de comparación entre datos de superficie regada en un mapa de usos del suelo y mapas obtenidos a partir de teledetección**

Superficies regadas (ha)			
Mapas de teledetección	Total	Regadío según SIOSE	No Regadío según SIOSE
Superficie regada en 2011	16.415	15.052	1.363
Superficie en regadío en el periodo 2008-2011	19.034	17.338	1.696
Superficie en regadío SIOSE	24.521		

Los datos muestran un aparente sesgo al alza en los datos de usos del suelo, que se ratifica cuando se realiza un análisis visual utilizando ortofotografía aérea. La comparación gráfica entre los resultados proporcionados por ambas fuentes de datos ilustra la diferencia conceptual existente ([figura 3](#)). El mapa de usos del suelo cubre una superficie superior a la superficie en regadío para el periodo 2008-11, aumentando la diferencia si analizamos cada uno de los años por separado.



**Figura 3. Comparación gráfica entre el mapa de usos del suelo (envolvente en color naranja) y el mapa de superficies en regadío entre 2008 y 2011 obtenido por teledetección (en color azul).**

**En la imagen de la derecha, se superponen ambos mapas sobre una imagen de satélite infrarroja, donde las zonas cubiertas por vegetación se aprecian en colores rojizos. Al analizar conjuntamente ambas imágenes, se observa la existencia de superficies incluidas dentro de la envolvente del mapa de usos del suelo (en naranja) y fuera del mapa de cultivos (en azul), en las que no existe presencia de vegetación.**

**c) Censos agrarios:** Las declaraciones que realizan los agricultores para cumplir las exigencias de la PAC permiten la obtención de cifras agrarias en el ámbito municipal, desglosadas en función de la existencia o no de riego. Así, la recopilación del conjunto de datos facilitado por los propios agricultores es otra de las alternativas para obtener un marco fiable para la cuantificación del regadío. De hecho, esta fuente de datos ha sido usada como base para la elaboración de algunos Planes Hidrológicos de cuenca, presentados en 2012 para su ratificación y aprobación.

Como caso de ejemplo, se han recopilado los datos correspondientes a los municipios con superficie representativa dentro de los acuíferos sobreexplotados de la Cuenca Alta del Guadiana (acuíferos de la Mancha Occidental y del Campo de Montiel) con objeto de compararlos con un mapa de cultivos obtenido a partir del uso de técnicas de información geográfica ([tabla 2](#)).

**Tabla 2. Comparación de datos de superficie regada entre declaraciones PAC y el mapa de cultivos regados en los acuíferos sobreexplotados de la Cuenca Alta del Guadiana**

	Superficie regada en 2009 (ha)			
	Herbáceos primavera	Herbáceos verano	Leñosos	Total 2009
Declaraciones PAC	81.986	19.307	59.333	160.626
Mapa cultivos regados	45.656	14.849	96.510	157.015

El análisis comparativo de los datos muestra que la cifra global cuantificada a partir de ambos métodos resulta similar. Sin embargo, a pesar de que la suma total de superficie se encuentra muy próxima, se observan diferencias muy amplias en las cifras referidas tanto a los herbáceos de primavera como a los leñosos. Además, aunque la diferencia en la cifra de herbáceos regados durante el verano se encuentra en un orden de magnitud menor, también es considerable, y cobra aún más importancia desde un punto de vista hídrico si tenemos en cuenta las altas dotaciones de consumo asociadas a estos cultivos. Hay que reseñar, que la precisión en la identificación del riego a partir de técnicas geográficas se situó en el 94,5% para el caso del cereal y en el 91% para el viñedo (Bea, 2011); validadas ambas cifras con datos específicos de campo. En el caso de los herbáceos de verano, la precisión en la identificación del riego es casi total. Así, los datos procedentes de las declaraciones se encuentran muy alejados de la realidad.

Las razones de estas diferencias no son sencillas de señalar, aunque podrían derivar de la condición del cereal como cultivo que puede acogerse directamente a las ayudas de la PAC, al contrario de lo que sucede con la viña. La cifra proporcionada por las hojas 1T no deja de ser una aproximación que puede ser más o menos válida dependiendo de varios factores como: el grado de implicación de las cámaras agrarias, la voluntad de cooperación de agricultores y el porcentaje de superficie de cultivos existentes que reciban algún tipo de subvención desde la Unión Europea. Desde un punto de vista práctico, la conclusión es que, si bien el consumo anual estimado a partir de ambas fuentes de datos resulta parecido, la distribución del consumo a lo largo del año es totalmente distinta. La similitud en las cifras globales no deja de ser una coincidencia, y el análisis pone en evidencia el margen de error asociado al uso de las hojas 1T en procesos de planificación.

**d) Estadísticas agrarias:** En este epígrafe se comparan datos generados a partir de la metodología presentada con datos de corte estadístico obtenidos a partir de encuestas a agricultores y trabajos específicos de campo.

Dentro de las estadísticas agrarias, en el proyecto ESYRCE (Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos en España) se generan con periodicidad anual para toda España datos de superficie regada a partir del método del marco de muestreo. Este método se basa en una recogida intensiva de datos dentro de una muestra de segmentos territoriales repartidos uniformemente dentro del ámbito de trabajo, aunque con un mayor recubrimiento en las zonas con actividad agrícola más intensiva. A partir de estos datos se realiza una estimación general de las superficies de cultivos mediante un proceso de inferencia estadística. Otra posibilidad es la realización de encuestas a un número suficiente de agricultores, con objeto de obtener una muestra significativa de información acerca de las prácticas y cultivos presentes en un territorio que sirva para extrapolar los datos a la totalidad del mismo. Este tipo de información se proporciona con carácter periódico dentro del Anuario de Estadística del INE.

En la actualidad el dato estadístico de referencia para la estimación de las superficies regadas es el proporcionado por el ESYRCE, que calcula este dato a nivel de agregación de provincia. Para avanzar en el análisis de la utilidad de esta fuente de datos, se ha realizado una comparación para la Región de Murcia entre los datos del ESYRCE para los años 2010 y 2011, y un mapa de 2011 elaborado a partir de la metodología propuesta (ver [tabla 3](#)).

**Tabla 3. Comparación de las superficies en riego en Murcia entre un proceso basado en Técnicas de Información Geográfica (TIG) y ESYRCE**

TIPOS DE CULTIVOS	Superficie regada (ha)		
	Datos ESYRCE 2010	Datos ESYRCE 2011	Datos TIG 2011
Herbáceos en riego	23.931	24.465	
Barbecho regadío	18.289	20.351	
Huerto vacío regadío	15.816	29.303	
<b>Subtotal cultivos herbáceos</b>	<b>58.037</b>	<b>74.120</b>	<b>62.408</b>
Huerta familiar	3.727	3.314	2.102
<b>Subtotal huerta</b>	<b>3.727</b>	<b>3.314</b>	<b>2.102</b>
Cultivos en invernadero	6.733	6.961	6.865
<b>Subtotal plástico</b>	<b>6.733</b>	<b>6.961</b>	<b>6.865</b>
Leñosos alta dotación	71.363	67.673	64.481
Leñosos baja dotación	14.490	25.118	29.379
<b>Subtotal cultivos leñosos</b>	<b>85.852</b>	<b>92.791</b>	<b>93.860</b>
<b>TOTAL Región de Murcia</b>	<b>154.349</b>	<b>177.186</b>	<b>165.235</b>

Los datos del ESYRCE presentan un importante intervalo, lo cual es esperable dentro de procesos estadísticos, al estar afectados por factores aleatorios ligados a la toma de muestra. El intervalo del ESYRCE se sitúa entre 154.000 y 177.000 hectáreas, mostrando variaciones especialmente importantes para las categorías de "huerto vacío regadío" y "leñosos de baja dotación". En el caso de los huertos vacíos, se trata de parcelas donde no se han apreciado cultivos regados, aunque se observa la presencia de infraestructura de riego. Esta categoría está sometida a una fuerte indeterminación, como muestra el hecho de que la cifra para 2011 se estima en el doble que para 2010. Para los cultivos leñosos de baja dotación, la variación de la cifra es también muy alta. Dado que estos cultivos aparecen tanto en riego como en secano, y que se riegan en periodos muy concretos, tanto las fechas de las visitas de campo como las zonas seleccionadas pueden tener una gran incidencia en los resultados.

Para el resto de cultivos, en los que se ha apreciado el riego durante las visitas, las cifras resultan mucho más homogéneas. El dato basado en técnicas TIG se sitúa en la zona media del intervalo

definido por las cifras del ESYRCE, lo cual aporta coherencia a las cifras, que quedan respaldadas por criterios basados en muestreos estadísticos. Si analizamos las cifras por grupos de cultivos, podemos extraer algunas conclusiones más precisas:

- i) En el caso de los herbáceos es donde la cifra del ESYRCE presenta mayores limitaciones, al realizarse las visitas de campo únicamente durante el verano. En una cuenca con una dinámica tan importante, como la del Segura, esta metodología no resulta adecuada, debiendo estimarse las superficies de cereales y hortalizas no regadas durante el verano a través de observaciones indirectas, etiquetadas en las categorías “barbechos en regadío” y “huertos de riego vacíos”.
- ii) En el caso de los invernaderos, la metodología del ESYRCE sí resulta muy válida, al poderse realizar las observaciones durante el verano, y encontrarse estos cultivos muy concentrados en varias zonas de la provincia. Las cifras obtenidas por ambos métodos resultan muy cercanas.
- iii) Para los cultivos leñosos de alta dotación, la metodología del ESYRCE también es adecuada. Las cifras son muy próximas, si bien parece que los datos de la metodología TIG presentan un cierto sesgo a la baja. Esto se debe sin duda a la imposibilidad de las técnicas de teledetección para detectar plantaciones nuevas, con árboles muy jóvenes o recién traídos de los viveros y que aún no se encuentran en producción.
- iv) Para los cultivos leñosos de baja dotación, la dificultad en la determinación del riego resulta máxima para ambos métodos. No obstante, resulta lógico que las cifras del ESYRCE sean inferiores a las de teledetección, ya que parte de las visitas a campo se realizan en momentos en los que la infraestructura de riego no está montada en aquellas parcelas que no reciben un riego intensivo.

El otro método de obtención de datos estadísticos sobre superficies regadas es el basado en la realización de encuestas a agricultores y comunidades de regantes. Como caso de análisis, se muestran las comparaciones, entre los datos estadísticos para las regiones de Murcia y de las Islas Baleares, y mapas de cultivos regados elaborados para ambos ámbitos a partir de técnicas geográficas (ver [tabla 4](#)). Todos los datos se refieren al año 2009, con la única excepción de los datos de la estadística de Estructura de Explotaciones Agrícolas (EEA), que son del año 2007 ya que ésta es la fecha más reciente disponible.

En el cotejo entre fuentes de datos, el hecho que primero llama la atención es la diferencia entre los dos estudios de encuesta estadística. En ambas regiones, el dato proporcionado por el Censo Agrario queda muy alejado de los otros dos datos, siguiendo la tendencia de infravalorar la cifra de superficie regada. Esta variación en las cifras resulta complicada de explicar, ya que las metodologías estadísticas seguidas en los dos procesos de encuesta son similares.

**Tabla 4. Comparación de datos de superficie regada (año 2009) entre fuentes de datos estadísticos y mapas de cultivos regados: regiones de Murcia e Islas Baleares**

	Superficie regada en 2009 en Murcia (ha)			
	Herbáceos	Leñosos	Cultivos bajo plástico	Total
Censo agrario (2009)	50.788	88.165	5.037	143.991
EEA (2007)	65.248	91.189	6.263	162.700
Datos TIG (2009)	64.219	97.678	6.520	168.417

	Superficie regada en 2009 en las Islas Baleares (ha)			
	Herbáceos	Leñosos	Cultivos bajo plástico	Total
Censo agrario (2009)	8.224	4.291	154	12.670
EEA (2007)	9.684	4.723	153	14.560
Datos TIG (2009)	9.115	4.023	342	13.480

El dato más similar es el que ofrecen el mapa de cultivos regados y la encuesta de EEA. En ambas regiones, la mayor diferencia aparece en los cultivos leñosos, lo que podría deberse a dos factores, por un lado, i) la teledetección presenta limitaciones para la discriminación de plantaciones jóvenes de leñosos, y de explotaciones en riego de cultivos arbóreos con baja cobertura vegetal, sobre todo si presentan una distribución diseminada, por otro, ii) el dato estadístico puede incluir plantaciones que sean regadas muy ocasionalmente y con muy bajas dotaciones, por lo que prácticamente no puedan distinguirse de plantaciones en secano. En las dos zonas de comparación, aparecen porcentajes significativos de superficie regada dedicada a cultivos leñosos de baja dotación (almendro, olivo y viña), para los que la identificación precisa de la presencia de riego resulta difícil de discriminar tanto para técnicas geográficas como estadísticas.

Desde un punto de vista práctico, los datos de tipo estadístico presentan dos inconvenientes importantes. En primer lugar, son datos cuya obtención resulta muy laboriosa, por lo que no suelen estar disponibles hasta mucho más tarde del periodo temporal que cubren. Además, no están sujetos a ningún tipo de representación espacial, lo que impide usos relacionados con el empleo de técnicas de análisis espacial, así como su desagregación en unidades menores o diferentes que la de término municipal o provincia, lo cual resulta problemático al trabajar sobre unidades hidrogeológicas o masas de aguas subterráneas. En el caso de las encuestas, se depende de la fiabilidad de las respuestas dadas por los agricultores, mientras que cuando se usan muestreos como dato de partida, los datos de campo que alimentan los algoritmos estadísticos se recogen principalmente durante el verano, lo cual supone un lastre en zonas con dinámicas intensas a lo largo del año de plantación y riego de cultivos. No obstante, se aprecia que los resultados obtenidos a partir de técnicas estadísticas muestran una mayor similitud con las cuantificaciones realizadas a partir de técnicas geográficas, y suponen una información complementaria de gran utilidad.

**Inventarios de detalle:** En general, estos mapas de distribución de cultivos y aprovechamientos resultan de gran utilidad para determinadas tareas de gestión agrícola, pero presentan desventajas críticas para su empleo en la gestión hídrica. Los datos relacionados con la distribución anual de cultivos en regadío son parciales y no están directamente disponibles. Además, la actualización de los datos resulta lenta y complicada, lo cual queda mitigado, en parte,

por el carácter permanente de algunos cultivos. De esta forma, el mayor inconveniente de esta aproximación se centra en su alto coste de elaboración y actualización, y en su carácter estático. Además, resulta frecuente que cuando se trata de cultivos que pueden ser encontrados tanto en riego como en secano, no se incluya esta información, lo cual limita su uso en aplicaciones de gestión hídrica.

## 5. Conclusiones

### 5.1. Sobre la metodología

La metodología de trabajo propuesta integra datos derivados del análisis digital de imágenes de satélite, datos tomados en campo de forma sincrónica a la adquisición de datos espaciales y datos auxiliares de diversa índole, y se apoya en la adaptación a la realidad agronómica, a la evolución reciente y a las condiciones actuales del territorio.

Los métodos basados en el uso de técnicas de teledetección se basan en un enfoque multiespectral, que generalmente puede mejorarse si se complementa desde un enfoque multitemporal. Además, el uso de todo tipo de información adicional relacionada con la existencia de riego a partir de un enfoque multicriterio permite paliar las limitaciones de las técnicas de teledetección cuando se enfrenta a los casos de mayor complejidad.

### 5.2. Sobre los resultados

El análisis efectuado muestra la conveniencia de estimar las cifras de superficie regada dentro de un territorio a partir de la elaboración de mapas con la suficiente calidad y a una escala de trabajo adecuada. Esta aproximación presenta una serie clara de ventajas sobre otras fuentes de datos disponibles, como son: la desagregación para cualquier unidad territorial, el conocimiento de la incertidumbre asociada a los datos y una mayor fiabilidad de los resultados.

La toma de decisiones relacionadas con el uso del agua debe basarse en información fiable y ajustada, siendo los mapas de distribución de cultivos uno de los componentes fundamentales de esta información. Sin una base adecuada, las medidas y planes acometidos sobre un territorio se encuentran sometidos a limitaciones de partida que condicionan desde un primer momento su posibilidad de éxito.

El uso de la teledetección no resulta incompatible con otras fuentes de datos, que son útiles como contraste y para la elaboración de intervalos y escenarios que reduzcan la incertidumbre asociada al uso de una única fuente de datos. Para este fin, resulta necesario caracterizar los puntos fuertes y limitaciones de las distintas fuentes de datos disponibles y combinarlas de forma acorde. Los resultados obtenidos a partir de técnicas geográficas resultan óptimos para aplicaciones relacionadas con la gestión de los recursos hídricos ya que permiten la localización del riego en el territorio y la identificación fiable de los tipos de cultivos presentes, con un tiempo rápido de

Bea Martínez, M., Rodríguez Esteban, J. A. y Montesinos Aranda, S. (2013): "Uso de técnicas de información geográfica para la discriminación de superficies regadas", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 220-245. ISSN: 1578-5157

---

respuesta. Así, las técnicas geospaciales se muestran como la mejor alternativa para aquellas aplicaciones operativas relacionadas con la estimación de la demanda hídrica en un territorio.

### Agradecimientos

Los autores queremos agradecer sinceramente su colaboración al personal de varias administraciones públicas que han apostado por el uso de técnicas de información geográfica para mejorar su conocimiento acerca de la demanda hídrica de la agricultura dentro de sus áreas de gestión. Dentro de esta comunicación se han utilizado datos procedentes de estudios acometidos por el Servicio de Estudios en Hidrología de la Comunidad Autónoma de las Islas Baleares (dirigidos por Alfredo Barón Pérez), de la Oficina de Planificación Hidrológica del Segura (dirigidos por Francisco Almagro Costa) y de la Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Guadiana (dirigidos por César Morugán Coronado).

### Referencias bibliográficas

Barba-Romero, S. y Pomerol, J. (1997): *Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica*. Alcalá de Henares, Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá.

Barón, A. (1999): "Experiencia sobre la evaluación de las extracciones de agua subterránea en las Islas Baleares", en Ballester *et al.* (Eds.): *Medida y evaluación de las extracciones de aguas subterráneas*. Madrid, ITGE, pp. 43-54.

Bea, M., Montesinos, S. y Benítez, A. (2003): "Application of remote sensing techniques for the groundwater extractions management in Mancha Occidental aquifer". *Proceedings of 6<sup>th</sup> Inter-Regional Conference on Environment-Water*. Albacete.

Bea, M. (2011): *Delimitación de superficies regadas a partir de técnicas geográficas: aplicación en la Cuenca Alta del Guadiana*. Tesis Doctoral, Madrid, Universidad Autónoma de Madrid.

Eastman, J.R., Kyrem, P.A.K., Toledano, J. y Jin, W. (1993): "A procedure for multi-objective decision making in GIS under conditions of competing objectives", in *Proceedings of EGIS 93*, pp. 438-447.

Erena, M. (2006): "Cálculo de la demanda agraria mediante SIG y Teledetección: aplicación al Campo de Cartagena", Master Universitario: Planificación y Gestión de recursos hídricos vol. 2, Murcia, Universidad de Murcia, pp. 315-330.

GEO – Group of Earth Observations (2007): *Developing a Strategy for Global Agricultural Monitoring in the Framework of Group on Earth Observations Workshop Report*. Rome, FAO. [04-02/2013] Disponible en

<[http://www.earthobservations.org/documents/cop/ag\\_gams/200707\\_01/20070716\\_geo\\_igol\\_ag\\_workshop\\_report.pdf](http://www.earthobservations.org/documents/cop/ag_gams/200707_01/20070716_geo_igol_ag_workshop_report.pdf)>

Gómez, M. y Barredo, J. I. (2005): *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, RA-MA Editorial, 2ª Edición actualizada.

Bea Martínez, M., Rodríguez Esteban, J. A. y Montesinos Aranda, S. (2013): "Uso de técnicas de información geográfica para la discriminación de superficies regadas", *GeoFocus (Artículos)*, nº 13-1, p. 220-245. ISSN: 1578-5157

---

LLamas, M.R. (2006): "La contribución de los avances científicos a la solución de los conflictos hídricos", publicado por la Universidad de Alicante como lección magistral en el acto de clausura del curso académico 2005-2006, 14 de junio de 2006.

López-Gunn, E., De Stefano, L. y LLamas, M.R. (2012): "The role of ethics in water and food security: balancing utilitarian and intangible values", *Water Policy*, 14, pp 89-105.

López-Gunn, E. y LLamas, M.R. (2008): "Re-thinking water scarcity: Can science and technology solve the global water crisis?", *Natural Resources Forum*, 32, pp 228-238.

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>>

Ozdogan, M., Yang, Y., Allez, G. y Cervantes, C. (2010): "Remote sensing of irrigated agriculture: Opportunities and Challenges", *Remote Sensing: Special issue in Global Croplands*, pp. 2274-2304. <<http://www.mdpi.com/2072-4292/2/9/2274/>>

Richards, J.A. (1986). *Remote Sensing Digital Image Analysis. An introduction*. Springer-Verlag.

Pazos Gil, J.M. (1982): "Presente y futuro del regadío en España", *Agricultura y sociedad*, nº 22, pp. 281-323.

Rodríguez Esteban, J.A., Pérez, M. y Rodríguez, J. (2003): "Análisis de los cambios espacio-temporales a partir de la creación de ortoimágenes del vuelo fotogramétrico de 1933", *Actas del VII Congreso de la AESIG*. Cáceres.

Sahuquillo, A., Custodio, E. y LLamas, M.R. (2009): "La gestión de las Aguas subterráneas". *Informe del panel científico de seguimiento de las políticas de aguas de la Fundación para una Nueva Cultura del Agua*. <<http://www.unizar.es/fnca/varios/panel/34.pdf>>.

Thenkabail, P.S., Biradar, C.M., Turrall, H., Noojipady, P., Li, Y.J., Vithanage, J., Dheeravath, V., VELPuri, m., Schull, M., Cai, X.L., and Dutta, R. (2006): "An Irrigated Area Map of the World (1999) derived from Remote Sensing", *Series IWMI, Research Report 105*. Colombo (Sri Lanka), International Water Management Institute (IWMI).

Thomasson, J.A. (2003): "Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications", in Heldman D.R. (Ed.): *Encyclopedia of Agricultural, Food, and Biological Engineering*. Taylor & Francis.