

## Aplicaciones basadas en tecnologías de la información geográfica para ayudar a gestionar el agua de riego en comunidades de regantes

M. A. Casterad Seral<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Suelos y Riegos (Asociada a EEAD-CSCI), Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón. Avda. Montañana 930, 50.059 Zaragoza.

acasterad@aragon.es

**RESUMEN:** En Aragón los regadíos suponen unos 3950 km<sup>2</sup> del territorio. La variabilidad temporal de la disponibilidad de agua es alta y determina la producción de cultivos. Los gestores del agua demandan herramientas para apoyar la toma de decisiones en la planificación y el manejo del agua en cuencas hidrográficas, regadíos y comunidades de regantes. En respuesta a esta solicitud el grupo de investigación de Aragón, Riego, Agronomía y Medio Ambiente (RAMA) ha desarrollado tres aplicaciones basadas en Tecnologías de Información Geográfica (TIG): (i) Irrivol, un método para predecir, estimar y cartografiar volúmenes de riego a partir de datos de terreno, meteorológicos e imágenes de satélite; (ii) Apoyo a la gestión del agua de riego, una herramienta basada en la predicción de la demanda de agua a partir de información obtenida de imágenes de satélite en tiempo real e información de la disponibilidad de agua; (iii) Evaluación del aprovechamiento del agua de riego, una metodología basada en datos procedentes de ADOR, programa para la gestión del agua en comunidades de regantes, y en información sobre el patrón de cultivo y la evapotranspiración real sacada de imágenes de satélite. En este trabajo se presentan ejemplos de su ejecución en los dos distritos de riego más grandes de España: la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón y la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña, con una superficie de regadío de 1250 km<sup>2</sup> y 1050 km<sup>2</sup> respectivamente.

**Palabras-clave:** Agua, Gestión, Regadíos, Landsat, Sistemas de información geográfica.

### 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura es el principal consumidor de agua en la mayoría de los países. En España alrededor del 70% del total de agua disponible se utiliza para el riego. En Aragón, las tierras de regadío suponen unos 3950 km<sup>2</sup> del territorio. En ellas, el clima es semiárido o árido con una fuerte variabilidad de la precipitación interanual. La variabilidad temporal de la disponibilidad de agua es alta y determina la producción de cultivos. Los regadíos aragoneses utilizan recursos hídricos superficiales que provienen de los Pirineos y los Montes Ibéricos. La disponibilidad de agua depende en gran medida del deshielo y las precipitaciones de invierno. El agua es un recurso productivo estratégico cada vez más escaso y preocupa cómo se usa. Se necesitan estrategias que permitan una optimización de la gestión de este recurso.

Los gestores del agua demandan herramientas para apoyar la toma de decisiones en la planificación y el manejo del agua. En Aragón, las comunidades de regantes, agrupaciones de todos los propietarios de una zona regable que disfruta de una concesión de agua para regar esa superficie de tierra que deben administrar, tienen que tomar decisiones, en ocasiones críticas, sobre la concesión y distribución del agua entre sus regantes.

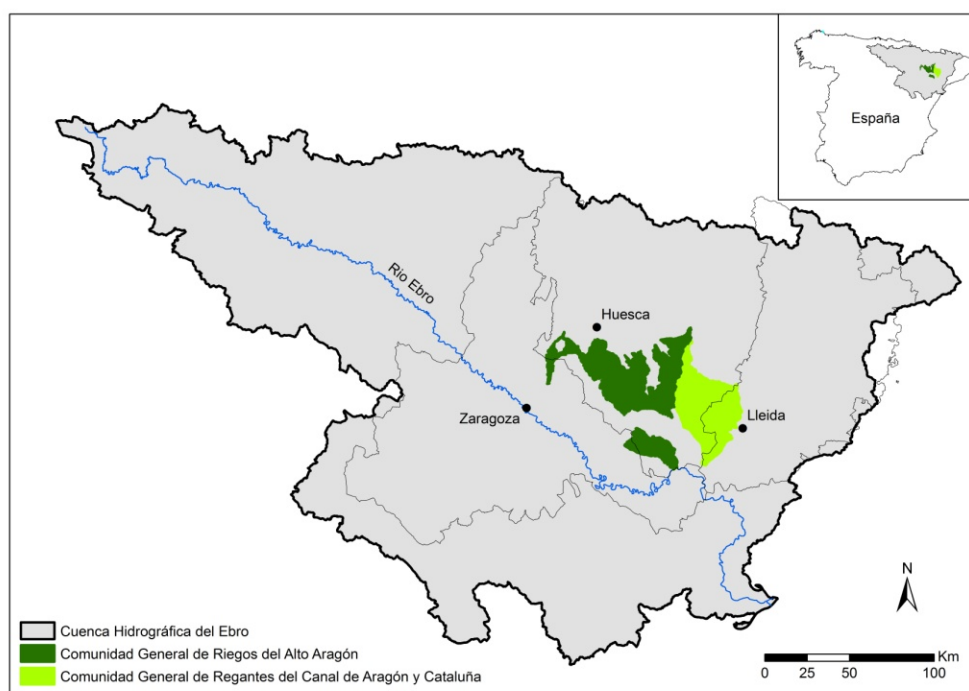
El grupo de investigación “Riego, Agronomía y Medio Ambiente” (RAMA), grupo reconocido por el Gobierno de Aragón, da respuesta a las inquietudes expuesta con las investigaciones y actividades que desarrolla dentro de dos de sus líneas de trabajo: (i) Diagnóstico y apoyo a la gestión del riego en comunidades de regantes y zonas regables; y (ii) Apoyo a la toma de decisiones agrícolas mediante tecnologías de información y comunicación (TIC): Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. En este trabajo se exponen tres aplicaciones puestas a punto por el grupo de investigación en respuesta a la necesidad de disponer de herramientas que ayuden en la toma de decisiones sobre gestión del agua en las comunidades de regantes: una para predicción, estimación y cartografía de volúmenes de riego (método Irrivol); otra para apoyo a la gestión del agua de riego; y otra para evaluación del aprovechamiento del agua

de riego.

Las tres aplicaciones se basan en tecnologías de información geográfica con las que se genera información espacio-temporal a escala regional en relación a la dos variables fundamentales para conocer las demandas hídricas: patrón de cultivos y necesidades hídricas (consumo de agua) de los cultivos. Concretamente emplean imágenes del satélite Landsat y sistemas de información geográfica (SIG).

## 2. ÁREAS DE ESTUDIO

Las aplicaciones que se presentan se han ejecutado en dos Comunidades de Regantes: la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón (CGRAA) y la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña (CGRCAYC). Son las dos comunidades de regantes más grandes de España y están adscritas a la Confederación Hidrográfica del Ebro (Figura 1). La demarcación elegida ha variado según las experiencias realizadas, abarcando toda o parte de las Comunidades Generales.



**Figura 1.** Localización de las áreas de estudio.

### 2.1. Comunidad General de Riegos del Alto Aragón

Se localiza entre las provincias de Huesca y Zaragoza y su superficie regable actual alcanza un total de 135000 ha, repartida en un territorio de 2500 km<sup>2</sup>. Reúne a 49 comunidades de regantes de base que se reparten en tres grandes subsistemas: Monegros I-Flumen, Cinca y Monegros II. El sistema se abastece de los ríos Gállego y Cinca y dispone de cinco embalses de cabecera situados en los Pirineos o sus proximidades con una capacidad total de 911 hm<sup>3</sup>, más el embalse en derivación de La Sotonera de 189 hm<sup>3</sup> de capacidad total. La modernización ha supuesto un cambio importante en el sistema de riego. Mientras que en 1999 el 70% de la superficie se regaba con riego por superficie, en la actualidad es el 76% de la superficie regable tiene implantado el riego presurizado, principalmente aspersión (comunicación personal CGRAA, 2014). Los cultivos que predominan en la superficie regadas son los cereales de invierno (trigo y cebada principalmente), cereales de verano (maíz y arroz principalmente) y forrajeras (alfalfa principalmente). La modernización ha supuesto un aumentado relevante de las dobles cosechas.

### 2.2. Comunidad General de regantes del Canal de Aragón y Cataluña

Está localiza a caballo de las provincias de Huesca y Lleida, y tiene unas 105000 ha de riego que se reparten 131 comunidades de regantes de base agrupadas en cinco fielatos o grandes zonas de riego: Almunia, Fraga, Raimat, Tamarite y Zaidín. Se riega con agua del Canal de Aragón y Cataluña, canal que se alimenta fundamentalmente del embalse Joaquín Costa cuya capacidad es 83hm<sup>3</sup>. De toda la zona regable, aproximadamente la mitad de la superficie se riega por aspersión (cobertura fija y pivotes) y la otra mitad por

gravidad y goteo (27 y 23% respectivamente). Predominan los frutales, tanto de hueso como de pepita, y los cultivos extensivos entre los que destacan los cereales de invierno (trigo y cebada principalmente), cereales de verano (maíz principalmente) y forrajeras (alfalfa principalmente).

### **3. VOLÚMENES DE RIEGO: PEDICCIÓN ESTIMACIÓN Y CARTOGRAFÍA**

#### **3.1. Necesidad**

El manejo del agua de riego requiere conocer el volumen de agua que se va a requerir en una determinada demarcación, comunidad de regantes, polígono de riego, explotación agrícola, etc. De ahí surge la idea de Irrivol, un método de predicción, estimación y cartografía de volúmenes de riego a partir de datos de terreno, meteorológicos y de satélite (Casterad y Herrero, 1998). Para su aplicación se requiere conocer las superficies y las necesidades hídricas de cada cultivo en el territorio a estudiar. Las características y objetividad del método lo hacen idóneo para conocer el uso y destino del agua de riego en cualquier demarcación y poder así controlar actuaciones y posibles conflictos.

#### **3.2. Descripción de la aplicación desarrollada**

##### *3.2.1. Irrivol-Predicción*

Al inicio de cada campaña agrícola, una vez sembrados los cultivos, se hace una predicción de los volúmenes de riego multiplicando la superficie de cada cultivo por sus necesidades hídricas netas para un año medio. En esta fase de Irrivol, las superficies de cultivo se obtienen mediante una muestra en las que se identifican los cultivos y ocupaciones existente y se estima estadísticamente, por expansión a todo el territorio estudiado, la superficie de los diferentes cultivos y ocupaciones, indicándose la precisión alcanzada (Casterad, 1996). En general, una visita al campo a primeros de año, para los cultivos de invierno, y otra a final de invierno o principio de primavera, para los de verano, son suficientes para predecir en Aragón el agua de riego.

Las necesidades hídricas de los cultivos se calculan mediante la metodología FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977) para lo que se necesitan: (i) los registros de precipitación y temperatura de varios años de una estación meteorológica situada en la zona de estudio con los que se obtienen las necesidades hídricas netas de un año medio; (ii) datos meteorológicos secundarios (humedad relativa, velocidad del viento y datos de insolación) tomados en la estación meteorológica o ya estimados con otros fines; y (iii) información sobre el ciclo de los cultivos.

##### *3.2.2. Irrivol-Estimación*

En una segunda fase se mejora la precisión de los volúmenes calculados en las predicciones. Para ello, se incorpora información actualizada sobre la superficie de los cultivos y ocupaciones y se utilizan las necesidades hídricas netas del año en curso. La nueva estimación mejorada de las superficies de los cultivos y ocupaciones se obtiene con un estimador de regresión a partir de datos de satélite. Estas superficies son las que se multiplican por las necesidades hídricas del año en curso.

Las superficies de cultivo se obtienen mediante tratamiento digital de las imágenes de satélite o aéreas según la escala de trabajo. En esta fase de Irrivol también sería posible utilizar la información de cultivos proveniente de otras fuentes siempre que esté disponible. Las imágenes también pueden utilizarse para estimar la evapotranspiración de los cultivos (ETc), información necesaria para calcular las necesidades hídricas.

##### *3.2.3. Irrivol-Cartografía*

Las imágenes de satélite no sólo permiten averiguar la superficie ocupada por cada cultivo, sino también su localización. Esto permite además de cuantificar los volúmenes de riego cartografiarlos. Para ello, Irrivol utiliza el mapa de cultivos obtenido de la clasificación de las imágenes de satélite y lo combina en un sistema de información geográfica con la información local necesaria para establecer las necesidades hídricas, obteniéndose así los mapas de volumen de riego correspondientes a las necesidades hídricas netas (Martín-Ordoñez et al., 2000). Esta información de las necesidades hídricas puede sustituirse por la obtenida a partir ETc estimada con las imágenes de satélite. El agua de riego aplicada se puede obtener incorporando la eficiencia de riego según cada una de las unidades de suelo existentes, siempre y cuando se cuente con este tipo de información.

### 3.3. Utilidad

Para mostrar sus posibilidades como herramienta de control y gestión del agua de riego, Irrivol se aplicó durante la década de los años 90 en diferentes regadíos altoaragoneses, (Casterad y Herrero, 1998; Herrero y Casterad, 1999; Casterad et al., 2000; Casterad y Martínez-Cob, 2010).

Irrivol puede calcular el agua de riego aplicada, que se está aplicando o que se va a aplicar en un regadío. Su objetividad permite obtener cifras absolutas útiles por sí o como comparación entre regadíos. También permite detectar posibles anomalías o desviaciones en el uso del agua, así como estimar la cantidad de agua utilizada en áreas donde no hay facturación, o la detraída para riego desde cauces superficiales o desde pozos y tener una idea de las eficiencias de los diferentes sistemas de riego.

En un sistema de riegos como el altoaragonés, cuyos embalses se conectan con los regadíos por una red de canales que permite elegir los desembalses de uno u otro reservorio, Irrivol permite optimizar la gestión del agua y ayudar en la planificación hidrológica.

La información generada mediante Irrivol se puede incorporar a un SIG, lo que permite estimar el volumen de riego para una porción arbitraria del territorio, obtener mapas de aplicación de agua por unidades políticas como municipios, comunidades de regantes u otras, o bien físicas como unidades cartográficas de suelos, subcuencas, sectores de riego, etc. Si la información generada mediante Irrivol se combina con mapas de suelos, se podrán prevenir problemas ambientales ayudando a detectar áreas propensas a alimentar flujos laterales subsuperficiales, a encharcamiento, a salinización/desalinización, a contaminación por agroquímicos, etc.

Así mismo, se puede utilizar para simular los efectos del cambio de sistema de aplicación de agua de riego y estimar el porcentaje de reutilización difusa del agua en un polígono de riego, aspectos de interés en el diseño de políticas hidráulicas.

Como ejemplos concretos de las posibilidades de Irrivol se enumeran algunas aplicaciones realizadas en el regadío de Flumen (Huesca). Irrivol se ha utilizado en este regadío para estimar mensual y anualmente el agua aplicada (Martín-Ordóñez et al., 2000) y ver su evolución. También para estimar del agua utilizada en sus huertas viejas de donde no se tienen datos de facturación. Así mismo, se ha utilizado para estudiar el impacto que tendría en este regadío el cambio de riego por inundación a riego por aspersión en el consumo de agua, la reutilización y analizar sus implicaciones ambientales (Nogués y Herrero, 2003). Se ha mostrado la utilidad y posibilidades de integración en servicios operativos para control de calidad del agua (García et al., 2005). En las Figuras 2 y 3 se pueden ver algunos de resultados obtenidos con Irrivol.

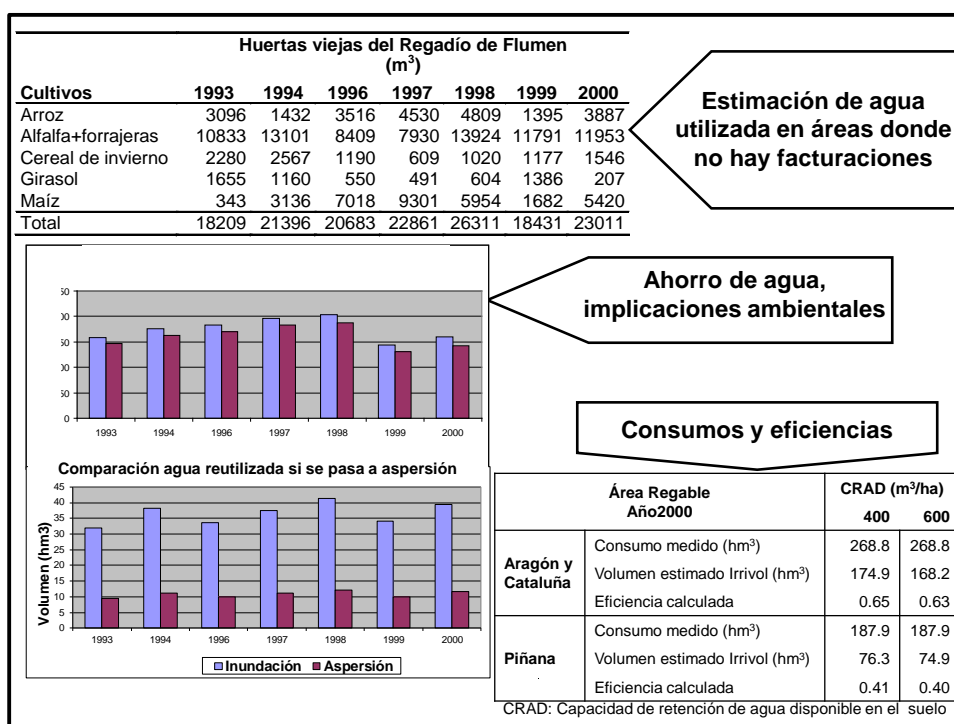
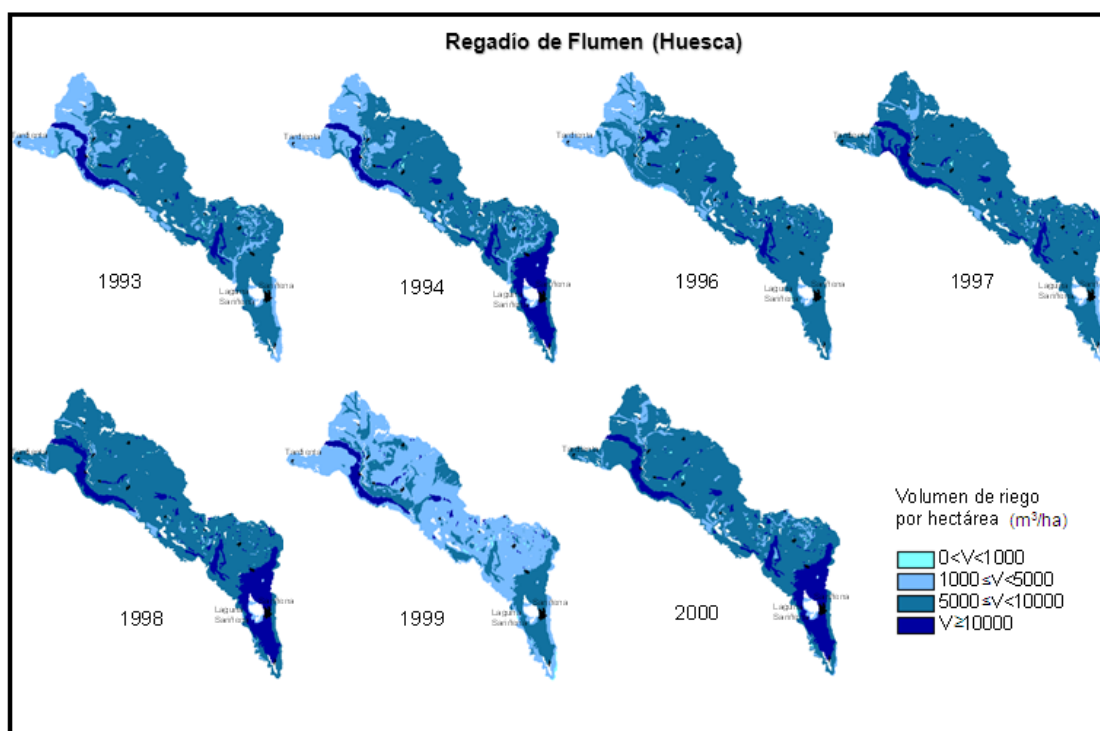


Figura 2. Algunos resultados derivados de Irrivol.



**Figura 3.** Evolución en el regadío de Flumen (Huesca) de los volúmenes de riego por tesela de suelo en siete años del periodo 1993-2000.

## 4. APOYO A LA GESTIÓN DEL AGUA DE RIEGO

### 4.1. Necesidad

Como ya se ha indicado anteriormente, en Aragón la variabilidad temporal de la disponibilidad de agua es alta y determina la producción de cultivos. Cuando el agua escasea es necesario adoptar limitaciones en su consumo durante la campaña de riego de acuerdo a las demandas existentes en la zona regable y a la disponibilidad del recurso. También en distritos de riego con escasa regulación del agua, como es el caso de la CGRCAYC, es necesario adoptar habitualmente estas limitaciones durante la campaña de riego. En estas situaciones, una buena gestión del agua de riego es absolutamente esencial si se quiere garantizar el mismo y fomentar la producción agraria en cualquier momento. Por tanto, determinar la cantidad máxima de agua de riego a suministrar en cada momento es un factor crítico. Para ello se necesita conocer la disponibilidad hídrica y la demanda hídrica. Esto último requiere tener información a tiempo real de las superficies de cultivos. Si no se tiene esta información no se pueden caracterizar las demandas a lo largo de la campaña. Ante esta situación se ha desarrollado una herramienta, basada en la predicción de la demanda de agua a partir de información obtenida de imágenes de satélite en tiempo real e información de la disponibilidad de agua, que se está utilizando por la CGRCAYC como apoyo en la toma de decisiones sobre la gestión de agua de riego (Casterad, et al. 2013; Quintilla, et al., 2014).

Otra herramienta de gestión desarrollada por el grupo de investigación para dar soporte informático a la gestión diaria del agua en comunidades de regantes y agilizar las tareas de facturación es ADOR (Playán et al. 2004; Playán et al. 2007). Permite gestionar el suministro de agua, almacenando datos sobre infraestructuras, parcelario, regantes, cultivos y demanda de agua en una base de datos enlazada a un SIG. Asimismo, incorpora utilidades de facturación y asesoramiento al regante. Este programa se desarrolló con el objetivo de crear un estándar de gestión en comunidades de regantes. No se incluyen en este trabajo más detalles sobre ADOR y su uso. Información sobre el mismo pueden encontrarse en (Playán et al., 2004; Playán et al., 2007).

### 4.2. Descripción de la aplicación desarrollada

Se describe a continuación la herramienta desarrollada en apoyo a la toma de decisiones ante ajustes sobre cantidad y momento de suministrar el agua tal y como se está aplicando en CGRCAYC.

A lo largo de la campaña de riego se necesita conocer los cultivos implantados y el grado de desarrollo alcanzado pues ello va a condicionar las demandas de agua. Esta información se obtiene de imágenes de satélite de alta resolución, como por ejemplo Landsat, Spot y Deimos, con las que se identifican y cartografía los cultivos a tiempo real y se realiza un seguimiento de los mismos.

Se obtiene una primera identificación de la superficie cultivada a partir del índice de vegetación de la diferencia normalizada (NDVI). En los regadíos aragoneses esta primera identificación puede hacerse al inicio de la primavera. Con esta información se conoce ya, en estas fechas, la superficie no cultivada. Esta superficie es por tanto la superficie susceptible de ser cultivada de verano. Además, se identifican y cartografía los cultivos de invierno y cultivos perennes con anterioridad a la siembra de cultivos de verano mediante clasificación supervisada de las imágenes, clasificación que se depura mediante árboles de decisión. Esta información obtenida antes de las siembras de verano es de gran ayuda si se han de tomar decisiones sobre dichas siembras, por ejemplo en caso de escasez de agua.

Mensualmente, con las nuevas imágenes que se van adquiriendo, se realiza a partir del NDVI un seguimiento de cómo varía la actividad vegetativa en la demarcación objeto de estudio (comunidad de regantes, distrito de riego, zona regable, etc.) y se mejora y actualiza la cartografía de cultivos inicialmente obtenida. La identificación de los nuevos cultivos tras la siembra de los cultivos de verano, con anterioridad al inicio del periodo de mayores necesidades hídricas, es otro momento clave pues permite realizar una estimación de las futuras posibles demandas de agua y ajustar su suministro en función de la disponibilidad existente. La cartografía de cultivos se sigue actualizando y mejorando a lo largo de la campaña agrícola hasta finales de verano con el objetivo de tener un mapa de cultivos y ocupaciones del año en curso lo más exacto posible. Este mapa ayudará a establecer y analizar relaciones entre cultivos, actividad vegetativa y demandas de agua. Además permitirá mejorar la primera identificación de cultivos a realizar en la siguiente campaña, al proporcionar información sobre las zonas con cultivos permanentes y las de cultivos anuales.

Toda la información que se genera se integra en un SIG con el que se obtiene y analiza la distribución espacio-temporal de los cultivos y su actividad vegetativa en cualquiera de las demarcaciones en las que se quiera usar la herramienta para tomar decisiones sobre la gestión del agua de riego.

A partir de la información sobre reservas de agua existente, volúmenes embalsados, caudales actuales e información de los modelos de reserva de nieve, etc. que proporciona la Confederación Hidrográfica del Ebro o dispone la propia Comunidad General de Regantes se determina la disponibilidad hídrica. En función de las demandas existentes en la zona regable y la disponibilidad de aguas se toman las decisiones oportunas respecto al suministro de agua para riego. En esta parte del procedimiento se utiliza la información detallada en los sub-apartados anteriores junto con información meteorológica, necesidades hídricas de los cultivos e información sobre el agua ya suministrada hasta el momento. Se consideran así mismo, cuando están disponibles, las series históricas de demandas de años anteriores.

La información generada se prepara y suministra a los regantes a través de bases de datos e informes técnicos o geoportales en caso de que estén disponibles. La CGRCAYC está creando un geoportal propio y se está adaptando y preparando la información para su incorporación y consulta en el mismo.

### **4.3. Utilidad**

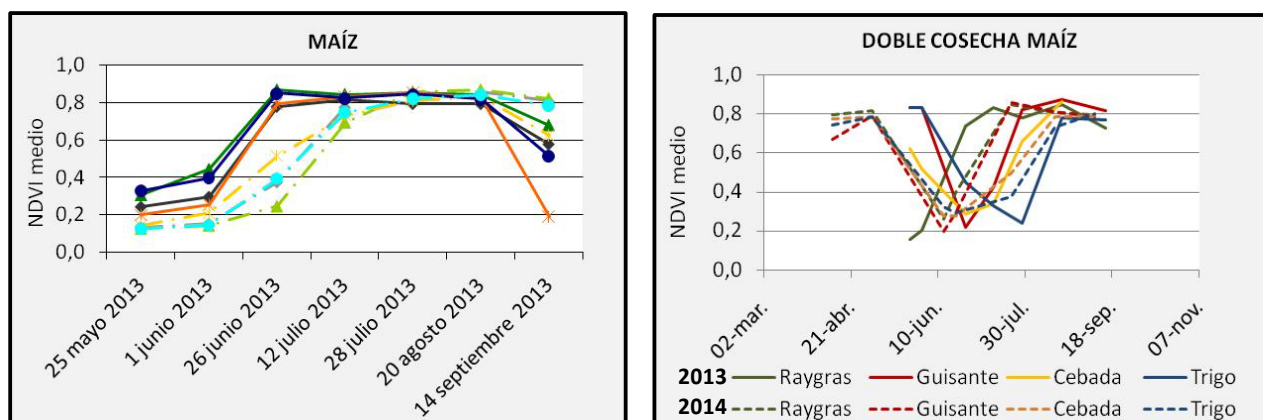
Como ya se ha indicado con esta herramienta se puede conocer cuál es el patrón de cultivos y ocupaciones y ver cómo varía espacialmente a lo largo de la campaña agrícola. Así, se sabe por ejemplo cómo varía el patrón de cultivos en la época de transición entre cultivos de invierno y cultivos de verano. Es en esta época cuando se dan los mayores cambios, tanto temporal como espacialmente, en cuanto a tipo de cultivo y superficie cultivada, por lo que conocer el cambio en el patrón de cultivos es clave a la hora de determinar consumos de agua.

Mediante el seguimiento del cultivo y su desarrollo se pueden identificar las diferencias de ciclo vegetativo para un mismo cultivo entre una zona y otra de la comunidad general, ver cómo vienen las dobles cosechas (Figura 4), o en qué estado vegetativo se encuentran cultivos forrajeros que se cortan varias veces a lo largo de la campaña, como la alfalfa. Esta información puede ser de gran utilidad para zonificar el territorio ante un manejo y reparto diferencial del agua.

La herramienta permite gestionar el agua en función de la demanda existente y de la disponibilidad hídrica, y por tanto ayuda a establecer la cantidad de agua y el momento de servirla a las comunidades. Esta información es especialmente útil cuando se precisan fijar cupos de agua o prorrateos (asignación periódica de dotación máxima de agua) a lo largo de la campaña de riego, como por ejemplo en situaciones de sequía o zonas con problemas en la regulación del agua.



Así mismo, su aplicación continuada proporcionará la información necesaria para establecer relaciones entre patrones de cultivo, desarrollo y demandas de riego y definir, en función de los cultivos, patrones de comportamiento frente al consumo de agua que se podrán utilizar para predecir las demandas en el futuro.



**Figura 4.** Seguimiento de parcelas de cultivo en la zona regable de la Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña.

## 5. EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE RIEGO

### 5.1. Necesidad

Desde siempre ha sido primordial en agricultura optimizar el uso de los recursos hídricos para asegurar su disponibilidad y minimizar implicaciones ambientales y conflictos por el uso del agua. Actualmente, el agua es cada vez más un bien escaso, lo que hace si cabe más imperioso mejorar su uso para lo que se necesitan herramientas adecuadas. Un paso para lograrlo es evaluar el uso que se hace de este recurso. En esta línea de trabajo se ha desarrollado una metodología que combina el uso de la teledetección mediante imágenes de satélite, con los datos procedentes de los programas informáticos de gestión de comunidades de regantes para evaluar el uso del agua de riego a escala regional, comunidad de regante, cuenca hidrológica etc. (Chalghaf et al., 2013). La metodología a seguir se basa en el uso de los datos procedentes de un sistema de gestión de riego y en la aplicación de técnicas de teledetección para identificar el patrón de cultivos mediante clasificación supervisada de imágenes de satélite y el consumo de agua de los cultivos (evapotranspiración real) mediante balance de energía. Se ha aplicado a diferentes comunidades de regantes y polígonos de riego de CGRAA.

### 5.2. Descripción de la aplicación desarrollada

La identificación y localización de los cultivos se obtiene, bien a través del sistema de gestión de riego cuando tienen disponible información sobre el cultivo implantado, o mediante la clasificación multitemporal de imágenes de satélite cuando no se dispone de estos datos. Además, se estima la evapotranspiración real de los cultivos (ETa) mediante teledetección con un modelo basado en un balance de energía aplicado a una serie temporal de imágenes Landsat. Concretamente se ha utilizado el modelo ReSET-Raster (Elhaddad y García, 2011). La información sobre la evapotranspiración así obtenida es de gran valor pues es una de las variables más relevantes en las evaluaciones. La variabilidad espacial que aportan las imágenes junto con la información sobre la realidad territorial que captan es una de las claves para tener las mejoras que se buscan en la estimación de la evapotranspiración, variable de gran relevancia en las evaluaciones.

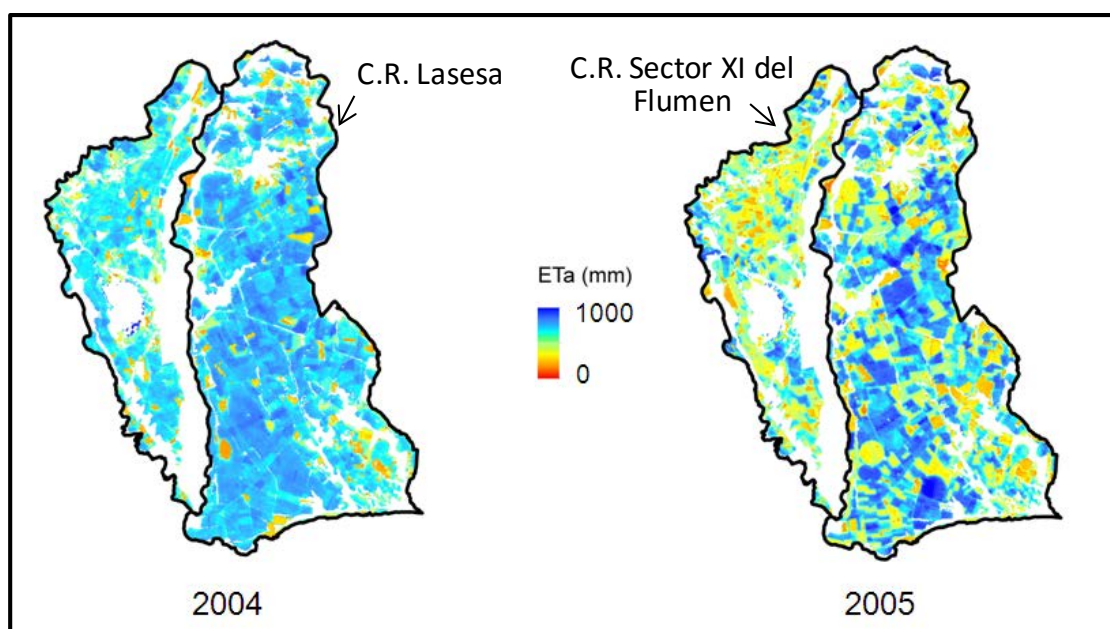
La información obtenida se usa para realizar evaluaciones sobre el uso del agua y conocer como se está aprovechando. Estas evaluaciones se realizan, por un lado, a partir de indicadores externos de gestión de agua (Molden et al., 1998) con los que se cuantifican las diferencias entre los aprovechamientos potencial y real del agua; y por otro lado, con índices de calidad de riego (Burt et al., 1997; Faci et al., 2000; Barros et al., 2011) estimados a partir de balances de agua. Para la obtención de los indicadores e índices se utiliza, además de la información ya indicada, información sobre otras variables como la evapotranspiración de los cultivos en condiciones óptimas, la evapotranspiración de referencia coeficientes de cultivo, rendimiento, volumen de agua de riego usado, precipitación efectiva, etc. En Burt et al. (1997), Faci et al. (2000), Barros et al. (2011), Chalghaf et al.(2014) se pueden encontrar más detalles sobre la metodología y experiencias

llevadas a cabo en CGRAA. Concretamente en algunas de estas experiencias se ha utilizado el ADOR para tener el volumen de agua de riego usado. También se obtuvieron de este programa información sobre los sistemas de riego usados en cada comunidad y el tamaño medio del parcelario.

### 5.3. Utilidad

La aplicación presentada se ha utilizado para realizar evaluaciones del uso del agua. La cartografía sobre cultivos y evapotranspiración obtenida de teledetección proporciona datos actuales, reales y una variabilidad espacial que suponen una mejora en la obtención de los indicadores con los que se realizan las evaluaciones. Mediante estos indicadores y evaluaciones se pueden establecer estrategias de control de la contaminación difusa del regadío (contaminación de fuentes no localizadas), caracterizar del impacto ambiental de zonas regadas, evaluar proyectos de riego, analizar el efecto que tiene la modernización de regadíos en el manejo, ahorro, cantidad y calidad de retornos de riego, etc. Los conocimientos que se generen de estas evaluaciones ayudarán en la planificación hidrológica y mejorar la gestión del riego.

Un ejemplo concreto de aplicación se puede ver en Chalghaf et al.(2014) donde en la zona regable de Riegos del Alto Aragón se han cuantificado las diferencias entre los aprovechamientos potencial y real del agua en las condiciones del periodo de estudio (2004 y 2005) y se han identificaron aquellas comunidades de regantes en las que esas diferencias fueron mayores y se han propuesto medidas de mejora (Figura 5).



**Figura 5.** Cartografía del consumo de agua (ETa) en las comunidades de regantes de Lasesa (aspersión) y Sector XI del Flumen (superficie), en las campañas 2004 y 2005.

## 6. CONCLUSIONES

La planificación y manejo del agua es crucial sobre todo en el regadío, gran consumidor de este recurso. Las tres aplicaciones presentadas en este trabajo son un ejemplo de lo que las tecnologías de información geográfica, concretamente la teledetección y SIG, pueden aportar en la gestión agua de riego. Estas aplicaciones han dado respuesta a problemas, necesidades y demandas planteadas desde los gestores del agua para conocer el agua que requiere en una determinada demarcación, saber cómo se está usando y mejorar su gestión.

La utilización conjunta de teledetección y SIG ha resultado idónea para generar y gestionar información sobre cultivos, necesidades hídricas y consumos de agua, así como para ver los efectos de la aplicación del agua. La utilidad y aplicabilidad de las metodologías y procedimientos presentados, como soporte a la tomar decisiones sobre el manejo y uso del agua en las comunidades de regantes ha quedado patente. Su adopción por parte de los regantes ya ha comenzado, aunque todavía tímidamente. Se espera que las nuevas directrices de apertura en cuanto a disponibilidad libre de imágenes, productos y servicios derivados de ellas que actualmente se vislumbran, contribuyan a la integración y expansión de aplicaciones como las aquí presentadas.



## AGRADECIMIENTOS

Las aplicaciones presentadas son el resultado de diferentes proyectos de investigación, demostración, asistencias técnicas y convenios llevados a cabo por el grupo de investigación aragonés *Riego Agronomía y Medio Ambiente*. En ellos han participado la *Comunidad General de Riegos del Alto Aragón*, la *Comunidad General de Regantes del Canal de Aragón y Cataluña* y la *Confederación Hidrográfica del Ebro*, a los que agradecemos su colaboración.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Casterad, M.A. (1996): "Cuestiones de diseño y ejecución en la estimación de superficies de cultivos en pequeñas demarcaciones", *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales*, 11, 255-279.
- Casterad, M.A. y Herrero, J. (1998): "Irrivol: A method to estimate the yearly and monthly water applied in an irrigation district". *Water Resources Research* 34 (11), 3045-3049.
- Casterad, M.A. y Martínez-Cob. A. (2010): "Aplicación de la teledetección a la mejora del manejo y gestión del agua de riego en Aragón". En *Riegos del Alto Aragón* (Eds) Monográfico de la I Jornada técnica Incorporación de la teledetección a la gestión del agua en la agricultura, 7-9.
- Casterad, M.A., Herrero, J. y Portero, C. (2000): "Comparación suministros/demandas de 1998 para diferentes polígonos de Riegos del Alto Aragón". Memoria del Trabajo de Consultoría y Asistencia para la Confederación Hidrográfica del Ebro (Ref: 99-PH-32-J), 35 pp.
- Casterad, M.A., Portero, C y Gómez, R (2013): "Monitorización con teledetección de la superficie cultivada y evolución de su desarrollo vegetativo en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña en verano de 2013. Memoria del convenio CITA-CGRCAYC. Disponible en <http://hdl.handle.net/10532/2645>.
- Chalghaf I., Elhaddad A., Casterad M.A., Martínez-Cob A., Garcia L.A. y Lecina, S. (2013): "Análisis del uso del agua en el sistema de Riegos del Alto Aragón combinando el sistema ADOR y teledetección". XXXI Congreso Nacional de Riegos. Orihuela (Alicante), Actas. AERYD y CERYD, 18- 20 junio de 2013. 10pp.
- Chalghaf I., Elhaddad A., Garcia L.A. y Lecina, S. (2014): "Generar información regional detallada para entender mejor el regadío. Riegos del Alto Aragón, 33, 18-22.
- CHE-CITA (2011): Evaluación del impacto medioambiental de las actividades agrarias en cinco sistemas de riego de la Cuenca del Ebro, informe final del convenio de colaboración entre la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y el Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA) para los años 2009-2010, 252 p. Disponible en <http://chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=14417&idMenu=3087>
- Doorenbos, J y Pruitt W.O. (1977): Guidelines for predicting crop water requirements, FAO Irrigation Drainage. Pap 24, rev.,144 pp., Food and Agric. Organ., Rome.
- Elhaddad, A. y García, L.A. (2011): "ReSET-Raster: Surface Energy Balance Model for Calculating Evapotranspiration Using a Raster Approach". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 137(4), 203-210.
- García, J.M., Fernández, J. y Escudero, R. (2005): "Servicios para la estimación de volúmenes de agua para riego por teledetección". Actas de la 6 Setmana Geomática Sensores de alta resolución y sus aplicaciones, 11pp.
- Faci, J.M., Bensaci, A., Slatni, A., Playán, E. (2000): "A case study for irrigation modernisation. I. Characterisation of the district and analysis of water delivery records". *Agric. Water Manage.* 42, 313-334.
- Herrero, J. y Casterad, M. A. 1999: "Using satellite and other data to estimate the annual water demand of an irrigation district". *Environmental Monitoring and Assessment*, 55, 305-317.
- Isidoro, D., Quílez, D. y Aragüés, R. (2004): "Water balance and irrigation performance analysis: La Violada irrigation district (Spain) as a case study", *Agricultural Water Management*, 64: 123-142.
- Martín-Ordóñez, T., Casterad M. A y Herrero, J. (2000). "Three years of mapping irrigation water in the Flumen irrigation district, Spain". En: Casanova (Ed.). *Remote Sensing in the 21st Century: Economic and Environmental Applications*. Rotterdam, Balkema, 191-194.

- Molden, D.J., Sakthivadivel, R., Perry, J., Fraiture, C., Kloezen W.H. (1998): "Indicator for comparing performance of irrigated agricultural systems". Research Report 10, International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. 26 pp.
- Nogués, J. y Herrero, J.(2003): "The impact of transition from flood to sprinkler irrigation on water district consumption". *Journal of Hidrology*, 276:37-52.
- Quintilla, R., Portero C., Casterad, M.A. (2014): "Apoyo a la gestión del agua en alta en la zona regable del Canal de Aragón y Cataluña con teledetección". *Actas del XXXII Congreso Nacional de Riegos*. Madrid, AERYD, 9 pp.
- Playán E., Caverro J., Mantero I., Salvador R., Lecina S., Faci J.M. Andrés J., Salvador V., Cardeña G., Ramón S, Lacueva J.L., Tejero M., Ferri J., Martínez-Cob A. (2007): "A database program for enhancing irrigation district management in the Ebro Valley (Spain)". *Agricultural Water Management*, 87, 209-216.
- Playán E., Caverro J., Mantero I., Salvador R., Lecina S., Faci J.M. (2004): "El programa ADOR: una herramienta para la mejora de la gestión del agua en las comunidades de regantes". *Riegos y Drenajes XXI*, 34, 44-50.