

## C-05

# ANÁLISIS DEL USO DEL AGUA EN EL SISTEMA DE RIEGOS DEL ALTO ARAGÓN COMBINANDO EL SISTEMA ADOR Y TELEDETECCIÓN

*Chalghaf, I.<sup>1</sup>, Elhaddad, A.<sup>2</sup>, Casterad, M.A.<sup>3</sup>, Martínez-Cob, A.<sup>4</sup>, Garcia, L.A.<sup>5</sup>  
Lecina, S.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Becario predoctoral (FPI-INIA) y <sup>3</sup> Investigador, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA-DGA), Unidad de Suelos y Riegos (asociada a la EEAD-CSIC). Avda. Montañana 930, 50059 Zaragoza (España)

<sup>2</sup> Investigador y <sup>5</sup> Profesor Universidad Estatal de Colorado, Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiental, Fort Collins, CO 80523 (EE.UU.)

<sup>4</sup> Investigador Científico, Estación Experimental Aula Dei (CSIC), Avda. Montañana 1005, 50059 Zaragoza (España)

### Resumen

En este trabajo se presenta una metodología para la evaluación del aprovechamiento del agua de riego a escala regional. Esta metodología se basa en el uso de los datos procedentes del sistema de gestión de riego Ador, y en la aplicación de técnicas de teledetección. Dichas técnicas permiten estimar: 1) el patrón de cultivos mediante clasificación supervisada; y 2) el consumo de agua de los cultivos mediante balance de energía (modelo ReSET-Raster). La aplicación de esta metodología a la zona regable de Riegos del Alto Aragón (125.899 ha) cuantificó las diferencias entre los aprovechamientos potencial y real del agua en las condiciones del periodo de estudio: (2004 y 2005). Asimismo, se identificaron aquellas comunidades de regantes en las que esas diferencias fueron mayores. En general, estas diferencias fueron menores en condiciones de sequía como las de 2005. Este año presentó un valor de suministro relativo de agua de 0,99, frente a 1,30 en 2004, aunque la producción agrícola disminuyó un 20% respecto a 2004. Asimismo, las comunidades con tecnologías de riego más avanzadas también presentaron menores diferencias. Sin embargo, el consumo de agua fue un 21% mayor en estas comunidades en ambos años.

### Abstract

This work presents a methodology focused on the assessment of irrigation water use at regional scale. This methodology is based on data provided by the irrigation management system named Ador and remote sensing techniques. These techniques allow estimating: 1) the crop pattern through supervised classification; and 2) the crop water consumption through energy balance (ReSET-Raster model). Gap between potential and real water use was computed in the Riegos del Alto Aragón irrigation project (125.899 ha) applying this methodology during 2004 and 2005. Those irrigation districts presenting the largest gap were identified. Overall, this gap was lower during drought events (2005). Relative water supply was 0,99 in 2005 and 1,30 in 2004, although agricultural production plunged 20% in 2005 with respect to 2004. Additionally, this gap was lower for irrigation districts using modern irrigation

technologies. However, water consumption was about 21% higher in these districts in both years.

## 1- Introducción y Objetivos

Los sistemas orientados a la monitorización y evaluación del regadío son un elemento estratégico. Estos sistemas contribuyen a lograr la viabilidad de las zonas regables, y a maximizar la rentabilidad de las inversiones en materia de regadíos. Asimismo, también resultan esenciales para realizar un uso sostenible de los recursos hídricos.

El objetivo principal de este trabajo fue contribuir a la caracterización y evaluación del uso del agua de riego a escala regional. Para ello se desarrolló una metodología basada en el sistema de gestión Ador y en la aplicación de técnicas de teledetección. Esta metodología se ha aplicado a la zona regable de Riegos del Alto Aragón (RAA), una de las de mayor extensión de la Unión Europea. Como objetivos secundarios se analizaron los impactos que sobre el uso del agua en RAA tienen factores como el tipo de sistema de riego y la disponibilidad de recursos hídricos.

## 2- Materiales y Métodos

### Zona y periodo de estudio

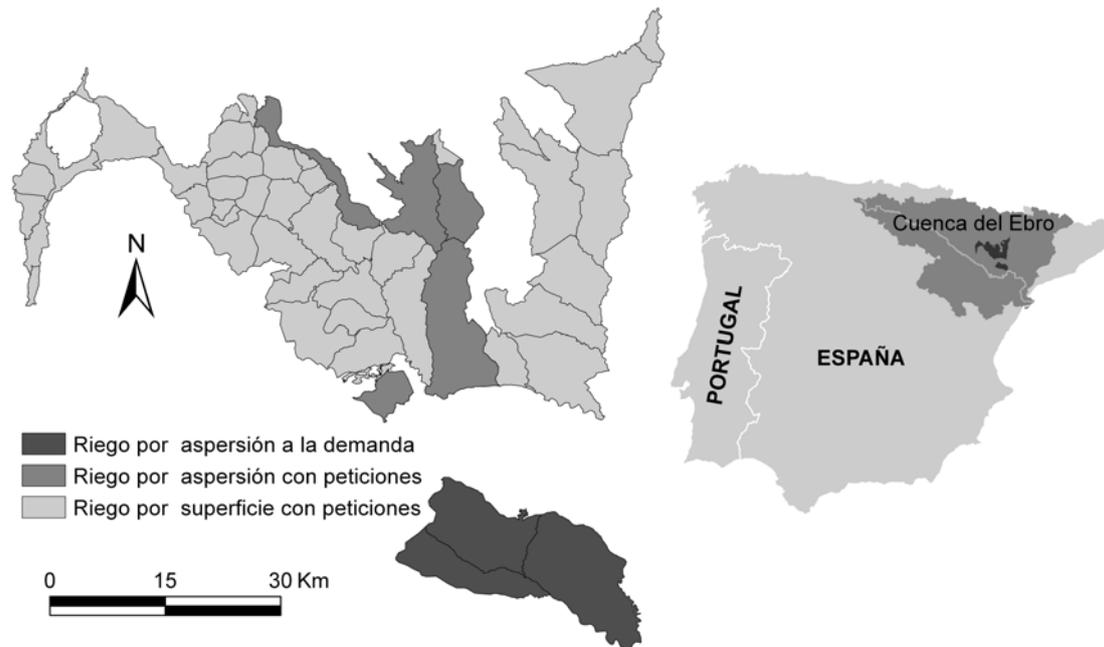
El sistema de Riegos del Alto Aragón (RAA) está localizado al NE de España, en el valle medio del Ebro (Figura 1), Su superficie regable es de 125.899 ha, repartidas en un territorio de 2.500 km<sup>2</sup>. El clima es semiárido con características mediterráneo-continentales. La temperatura media anual es de 14,5 °C, la cual presenta una escasa variabilidad espacial. Por el contrario, la precipitación muestra una acusada gradación entre el norte de RAA, donde la media anual es de 450 mm, y el sur, con 300 mm. La velocidad media del viento oscila entre 1,9 m s<sup>-1</sup> en el norte y 2,6 m s<sup>-1</sup> en el sur. La media anual de la evapotranspiración de referencia (Allen y col., 1998) varía entre 949 mm en el norte y 1.149 mm en el sur.

El sistema se divide en 53 comunidades de regantes (Figura 1). Atendiendo a sus sistemas de riego y de distribución de agua se distinguieron tres tipos de comunidades de regantes en los años de estudio:

- Comunidades transformadas de secano a regadío recientemente con sistemas de riego por aspersión y redes colectivas de distribución de agua a la demanda (10% de la superficie regable).
- Comunidades transformadas en los años 80 y principio de los 90 con sistemas de riego por aspersión y redes colectivas de distribución de agua por peticiones (17% de la superficie regable).
- Comunidades con riego por superficie transformadas antes de los años 80, con redes de acequias que distribuyen el agua por peticiones (73% de la superficie regable).

La modernización del regadío que se está llevando a cabo en RAA está adoptando el riego por aspersión a la demanda como nuevo sistema de riego. La superficie modernizada abarca ya el 60% del área regada por superficie. Paralelamente, se ha procedido a la modernización del sistema de gestión del agua, adoptándose el programa de gestión de comunidades de regantes denominado Ador (Playán y col., 2004; Playán y col., 2007). Ador permite gestionar el suministro de agua en RAA almacenando datos sobre infraestructuras, parcelario, regantes, cultivos y demanda de agua en una base de datos enlazada a un Sistema de Información Geográfica (SIG). Asimismo, incorpora utilidades de facturación y asesoramiento al regante.

El periodo de estudio comprende los años 2004 y 2005. El año 2005 se caracterizó por una escasa disponibilidad de agua regulada, mientras que durante 2004 no se produjeron restricciones. La evapotranspiración de referencia (Allen y col., 1998) fue superior a la media anual, oscilando entre 1.142 mm y 1.265 mm en 2004, y entre 1.252 mm y 1.387 mm en 2005. La precipitación fue más alta en 2004 (entre 312 mm y 426 mm) que en 2005 (entre 273 mm y 363 mm). Sin embargo, la precipitación durante la estación de riego (abril-septiembre) fue de 148 mm en 2005, mientras que en la de 2004 fue de 108 mm.



**Figura 1.** Localización de Riegos del Alto Aragón (RAA) y delimitación de sus comunidades de regantes, diferenciadas en función del tipo de sistema de riego y de la organización de la distribución de agua entre parcelas durante el periodo de estudio 2004-2005.

Metodología para la evaluación del aprovechamiento del agua a escala regional

El presente estudio se ha basado en la determinación de una serie de indicadores externos de gestión del agua (Molden y col., 1998). Para su cálculo fue necesario obtener previamente una serie de variables relativas al patrón de cultivos, su evapotranspiración y rendimiento, y al volumen de agua de riego usado.

La evapotranspiración real de los cultivos ( $ET_a$ ), o consumo de agua de los mismos, se estimó mediante técnicas de teledetección. Se aplicó el modelo ReSET-Raster (Elhaddad y García, 2011), basado en un balance de energía, a una serie temporal de 19 imágenes Landsat (13 de Landsat5 y 6 de Landsat7) correspondientes a las campañas de riego 2004 y 2005.

La identificación y localización de los cultivos también se obtuvo mediante teledetección, pues no todas las comunidades disponen de estos datos en Ador. Para ello se realizó una clasificación multitemporal supervisada de imágenes Landsat5 (todas las bandas excepto la térmica). La "verdad-terreno" se obtuvo a partir de las declaraciones para la solicitud de ayudas de la Política Agrícola Comunitaria (PAC) de los agricultores. La clasificación resultante se depuró mediante un árbol de decisión (Davis y Dozier, 1990; Baker y col., 1993), de forma que se pudieran identificar las

dobles cosechas que no estaban representadas en la “verdad-terreno”. Las áreas urbanas y de vegetación natural se tomaron de CORINE Land-Cover 2006.

La evapotranspiración de los cultivos en condiciones óptimas ( $ET_c$ ) se calculó de acuerdo a la metodología FAO (Allen y col., 1998). La evapotranspiración de referencia ( $ET_0$ ) se determinó a partir de los datos de 9 estaciones agrometeorológicas de la red del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR). Los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) utilizados fueron los propuestos por Martínez-Cob y García-Vera (2004) para las comarcas de Aragón.

El rendimiento de los cultivos se estimó considerando únicamente el efecto del estrés hídrico. Para ello se aplicó el modelo clásico FAO (Doorenbos y Kassam, 1979). Este modelo asume una relación lineal entre la evapotranspiración relativa ( $ET_a/ET_c$ ) y el rendimiento relativo de los cultivos (relación entre el rendimiento real y el máximo). El rendimiento máximo de los cultivos se obtuvo de encuestas realizadas en la zona en trabajos previos. El valor económico de la producción se determinó considerando los precios de mercado proporcionados por la Lonja Agropecuaria de Lérida “Mercolleida” para los años 2004 y 2005.

El volumen de agua de riego usado se obtuvo de Ador. También se obtuvieron de este programa los sistemas de riego usados en cada comunidad, el tamaño medio del parcelario, así como otros datos útiles para la interpretación de los resultados de este estudio.

A partir de todos estos datos se calcularon nueve indicadores de gestión de riego a escala de comunidad de regantes en el sistema de RAA. (Tabla1)

**Tabla 1.** Indicadores de gestión de riego utilizados (Molden y col., 1998)

Indicadores	Fórmula	Términos
1. Fracción consuntiva	$CF = \frac{ET_a}{V_d + P}$	$ET_a$ : Evapotranspiración real del cultivo ( $m^3$ )
2. Estrés hídrico (%)	$WS = 1 - \frac{ET_a}{ET_c} \times 100$	$V_d$ : Agua de riego usada ( $m^3$ ) $P$ : Precipitación( $m^3$ )
3. Suministro relativo de agua	$RWS = \frac{V_d + P}{ET_c}$	$ET_c$ : Evapotranspiración del cultivo en condiciones óptimas ( $m^3$ ).
4. Suministro relativo de agua de riego	$RIS = \frac{V_d}{ET_c - PE}$	$PE$ : Precipitación efectiva durante el periodo vegetativo del cultivo ( $m^3$ ) (estimada en un 75% de la precipitación total).
5. Productividad bruta de la superficie ( $\text{€ ha}^{-1}$ )	$GLP = Pr \times Y_a$	$Pr$ : Precio de la cosecha del cultivo ( $\text{€ t}^{-1}$ )
6. Productividad bruta potencial de la superficie ( $\text{€ ha}^{-1}$ )	$PGLP = Pr \times Y_{max}$	$Y_a$ : Rendimiento real del cultivo en $t ha^{-1}$ .
7. Productividad bruta del agua consumida ( $\text{€ m}^{-3}$ )	$WP_{(ETa)} = \frac{GLP}{ET_a}$	$Y_{max}$ : Rendimiento máximo del cultivo en $t ha^{-1}$ .
8. Productividad bruta del agua usada ( $\text{€ m}^{-3}$ ).	$WP_{(Vd)} = \frac{GLP}{V_d}$	
9. Productividad bruta potencial del agua usada ( $\text{€ m}^{-3}$ )	$PWP_{(Vd)} = \frac{PGLP}{V_d}$	

### 3- Resultados y Discusión

#### Campaña de riego 2004

La Tabla 2 muestra los resultados de las variables e indicadores de gestión obtenidos en 2004. El patrón de cultivos se caracterizó por presentar una proporción de cultivos de verano del 67% sobre el total de la superficie regable. La alfalfa y el maíz fueron los cultivos predominantes (30% y 25% respectivamente), seguidos por el cereal de invierno (15%) y el arroz (7%). El 17% de la superficie regable no se cultivó.

El uso medio de agua de riego fue de 621 mm. El 69% de la suma de estos volúmenes de agua fue consumido por los cultivos en forma de evapotranspiración (502 mm). Esta aportación de agua a los cultivos fue suficiente para satisfacer sus necesidades hídricas. Tanto el valor del suministro relativo de agua de riego como el de agua total (riego más precipitación) fue de 1,30. Sin embargo, el estrés hídrico medio de los cultivos fue del 10%, lo que pone de manifiesto la posibilidad de mejora del aprovechamiento del agua. Mejora que supondría un mayor retorno económico para las explotaciones de RAA. La productividad bruta media de la superficie fue de 1.067 € ha<sup>-1</sup>, valor un 8% inferior al potencial. Asimismo, la productividad bruta del agua usada (0,172 € m<sup>-3</sup>) también fue un 8% inferior. En estas condiciones, el potencial de conservación de agua fue de 175,9 hm<sup>3</sup>, mientras que el de crecimiento de la producción bruta fue de 10,8 M €. Estos valores representan máximos que requerirían de eficiencias de riego y producción del 100%, las cuales no es posible alcanzar. No obstante, cuantifican las diferencias existentes entre el aprovechamiento potencial y real.

**Tabla 2.** Variables e indicadores externos de gestión del agua durante las campañas 2004 y 2005 agregados por sistema de riego y para el conjunto de RAA.

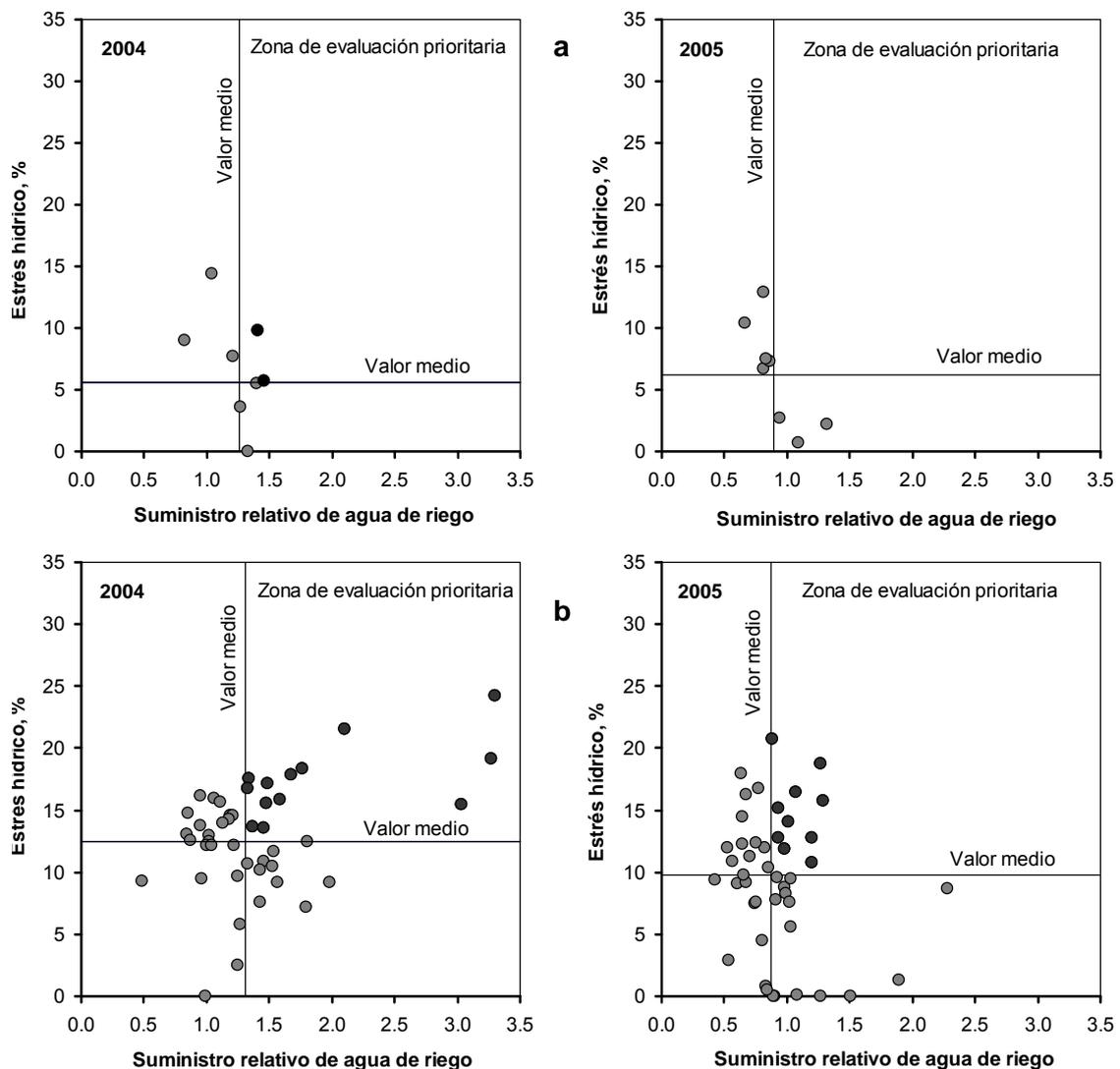
	2004			2005		
	Aspersión	Superficie	Total RAA	Aspersión	Superficie	Total RAA
V <sub>d</sub> (mm)	656	609	621	367	367	321
ET <sub>c</sub> (mm)	610	543	561	528	457	477
ET <sub>a</sub> (mm)	576	475	502	495	412	435
CF	0,75	0,67	0,69	0,95	0,92	0,93
WS (%)	6	12	10	6	10	9
RWS	1,27	1,31	1,30	0,99	0,98	0,98
RIS	1,26	1,31	1,30	0,89	0,87	0,88
Cult. Verano (%)	80	62	67	64	50	54
GLP (€ Ha <sup>-1</sup> )	1256	999	1067	1011	798	856
PGLP (€ Ha <sup>-1</sup> )	1329	1091	1154	1072	869	924
WP(V <sub>d</sub> ) (€ m <sup>-3</sup> )	0,191	0,164	0,172	0,276	0,263	0,267
WP(ET <sub>a</sub> ) (€ m <sup>-3</sup> )	0,218	0,210	0,213	0,204	0,193	0,197
PWP(V <sub>d</sub> ) (€ m <sup>-3</sup> )	0,203	0,179	0,186	0,292	0,286	0,288

V<sub>d</sub>: agua de riego usada; ET<sub>c</sub>: la evapotranspiración del cultivo; CF: la fracción consuntiva; ET<sub>a</sub>: evapotranspiración real del cultivo; WS: estrés hídrico; RWS: suministro relativo de agua; RIS: suministro relativo de agua de riego; GLP: productividad bruta de la superficie; PGLP: productividad bruta potencial de la superficie; WP<sub>(ET<sub>a</sub>)</sub>: productividad bruta del agua consumida; WP<sub>(V<sub>d</sub>)</sub>: productividad bruta del agua usada; PWP<sub>(V<sub>d</sub>)</sub>: productividad bruta potencial del agua usada.

La disminución de estas diferencias entre valores reales y potenciales requeriría de estudios específicos que determinaran y analizaran indicadores internos de gestión. Estos indicadores relacionan el uso del agua y la productividad con variables que caracterizan la distribución y aplicación de agua. El coste de estos

estudios es elevado, razón por la cual deberían priorizarse en aquellas comunidades que presentasen unos indicadores de gestión con mayor potencial de mejora.

En la Figura 2 se comparan los valores de suministro relativo de agua de riego y de estrés hídrico por comunidad y tipo de sistema de riego. Aquellas comunidades que presentaron un mayor valor de ambas variables (representadas con un punto negro) serían prioritarias para llevar a cabo los referidos estudios a escala local. Como valores de referencia se han tomado los valores medios de la propia campaña 2004 por tipos de riego. La aplicación continuada de esta metodología permitiría obtener los valores de referencia más adecuados a las características de la zona.



**Figura 2.** Relación entre el suministro relativo de agua de riego y el estrés hídrico para la identificación de las comunidades de regantes prioritarias para su evaluación local en sistemas de riego por aspersión (a) y en sistemas de riego por superficie (b).

Agregando estos resultados por sistema de riego, se observaron notables diferencias entre los sistemas de superficie y los presurizados. El patrón de cultivos fue más intensivo en los sistemas de riego por aspersión. Los cultivos de verano ocuparon un 80% de la superficie regada por aspersión. En las comunidades con

riego por superficie, este porcentaje únicamente fue del 62%. En ambos casos la alfalfa y el maíz fueron los cultivos predominantes.

El uso de agua de riego también fue superior en las comunidades con sistemas de riego por aspersión (656 mm frente a 609 mm). Esta diferencia se debió a un patrón de cultivos más intensivo. Sin embargo, existe otro factor que también influyó en esta diferencia, aunque en este caso, minorándola. El suministro relativo de agua fue superior en las comunidades con riego por superficie (1,31) que en aquellas con riego por aspersión (1,27).

A pesar de este mayor suministro relativo de agua, los cultivos de las comunidades con sistemas por superficie fueron sometidos a un mayor estrés hídrico. Mientras que en estas comunidades el 88% de la evapotranspiración teórica en condiciones óptimas fue satisfecha, en las que contaron con riego por aspersión este porcentaje fue del 94%. La discriminación en función de la sensibilidad al estrés hídrico de los cultivos fue considerada en la gestión de los dos sistemas de riego, al ser menor en ambos el estrés hídrico medio del maíz (resultados no mostrados).

Estas diferencias de estrés hídrico y de patrón de cultivos explican a su vez la mayor productividad de las comunidades con riego por aspersión. La productividad bruta de la superficie regable fue un 26% superior en riego por aspersión ( $1.256 \text{ € ha}^{-1}$  frente a  $999 \text{ € ha}^{-1}$ ). Debido a ello, la productividad bruta del agua usada fue un 17% superior ( $0,191 \text{ € m}^{-3}$  frente a  $0,164 \text{ € m}^{-3}$ ), a pesar de la mayor demanda de agua en aspersión.

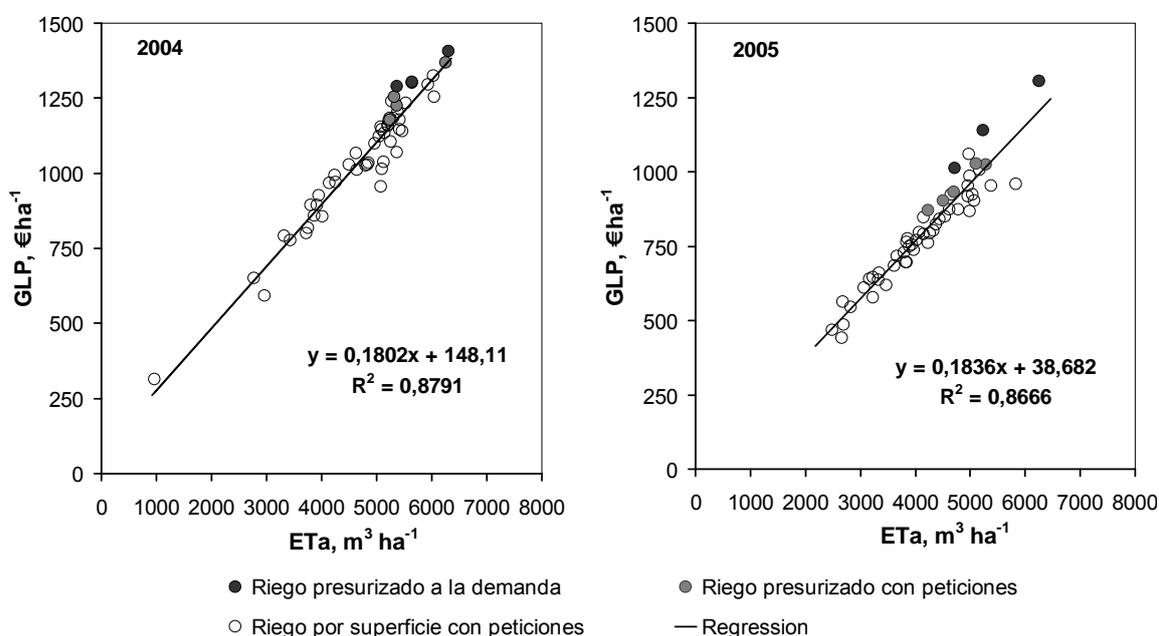
Finalmente, la productividad bruta del agua consumida fue un 4% superior en riego por aspersión ( $0,218 \text{ € m}^{-3}$ ) respecto al riego por superficie ( $0,210 \text{ € m}^{-3}$ ). La menor diferencia entre sistemas de riego de este último indicador se debió a que la fracción consuntiva en el riego por aspersión fue de 0,75, mientras que en superficie fue de 0,67. Estos valores responden al menor suministro relativo de agua y menor estrés hídrico de los cultivos regados por aspersión. De esta forma, se compensa parcialmente la menor producción del riego por superficie con una menor evapotranspiración. Si a su vez se considerasen las pérdidas por evaporación y arrastre del riego por aspersión, que también suponen un uso consuntivo del agua, la diferencia de esta productividad entre ambos sistemas de riego se minimizaría (Lecina y col., 2009). Dadas las características propias del territorio de RAA y de su situación geográfica, alejado del mar, la mayor parte de las pérdidas por percolación y escorrentía no se consideran consuntivas (Lecina y col., 2010a; Lecina y col., 2010b).

Estos resultados muestran a su vez cómo la tecnología de riego que proporciona una mayor productividad por unidad de superficie también supone un mayor volumen de evapotranspiración. En la Figura 3 se observa la relación lineal entre ambas variables, y cómo las comunidades con riego por aspersión a la demanda presentaron generalmente mayores valores de productividad y evapotranspiración. Factores como las diferentes condiciones meteorológicas y edáficas de las comunidades, así como otros factores de tipo productivo no analizados en este estudio, también influyen en la dispersión de los resultados.

### Campaña de riego 2005

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos para la campaña 2005. Esta campaña se caracterizó por una intensa sequía hidrológica. El bajo nivel de agua en los embalses del RAA obligó a la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón (CGRAA) a restringir su uso mediante cupos. Los regantes respondieron a esta situación disminuyendo la proporción de cultivos de verano, que fue de un 54% (67% la campaña anterior). La superficie regable que no se cultivó (30%) prácticamente dobló a la de 2004 (17%). Esta reducción de la intensidad de cultivo se realizó en la misma proporción en las zonas regadas por aspersión y en las regadas por superficie.

El uso de agua de riego disminuyó un 48% respecto a 2004 (321 mm). Sin embargo, esta disminución no fue debida únicamente a la menor proporción de cultivos de verano. El agua aplicada se ajustó más a las necesidades hídricas de los cultivos. En efecto, el suministro relativo de agua de riego fue de 0,88, mientras que el de agua total (riego más lluvia) fue de 0,98. Estos valores indican que dicho suministro fue más ajustado a las necesidades hídricas de los cultivos, aprovechándose en mayor medida el agua de lluvia (148 mm) que, por otra parte, fue superior a la del año 2004. Este comportamiento respecto al uso del agua se observó tanto en riego por superficie como en riego por aspersión. La fracción consuntiva se incrementó de 0,69 a 0,93 por la mayor reducción relativa del uso de agua (48%), respecto a la reducción de la evapotranspiración real de los cultivos (13%). El valor medio de estrés hídrico (9%) fue similar al de la campaña anterior (10%). Debido a todo ello, el número de comunidades prioritarias para su análisis local disminuyó respecto a 2004 (Figura 2).



**Figura 3.** Relación entre la productividad bruta de la superficie regable y la evapotranspiración real por comunidades de regantes, considerando sus tipos de sistemas de riego y de organización de la distribución de agua.

Mediante estas actuaciones sobre el patrón de cultivos y el manejo del agua se logró incrementar la productividad bruta del agua demandada un 55%, alcanzando un valor de 0,267 € m<sup>-3</sup>. Este incremento muestra la coherencia del comportamiento de los agricultores ante la necesidad de maximizar el aprovechamiento del factor de producción más escaso.

A pesar del incremento de la productividad bruta del agua usada, la productividad bruta de la superficie regable (856 € ha<sup>-1</sup>) disminuyó en un 20% respecto al año anterior. Aunque el aprovechamiento del agua mejoró, la menor intensidad del patrón de cultivo influyó de forma decisiva en este sentido. No obstante, la productividad bruta de la superficie únicamente fue un 7% inferior respecto a su valor potencial (8% en 2005), lo que supone 8,4 M €.

Las diferencias por sistema de riego se siguieron observando en 2005. El uso de agua, la evapotranspiración y las productividades fueron superiores en las

comunidades con riego por aspersión. Y ello, a pesar de que la reducción de la proporción de cultivos de verano y del suministro relativo de agua de riego se aplicó en ambos sistemas de riego. No obstante, resulta interesante observar cómo las diferencias en productividad bruta de la superficie entre las comunidades con riego por aspersión y las comunidades con riego por superficie no varió mucho con respecto a 2004 (26% en 2004 y 27% en 2005).

Sin embargo, en el caso de la productividad bruta del agua usada, esta diferencia pasó de un 17% en 2004 a un 5% en 2005. Estos resultados vuelven a poner de manifiesto el potencial de mejora del aprovechamiento del agua que existió en RAA en las condiciones del periodo de estudio.

La relación entre productividad y evapotranspiración fue similar en 2005 respecto a 2004, a pesar de las diferencias entre ambas campañas (Figura 3). Una mayor producción requirió una mayor evapotranspiración.

#### **4- Conclusiones**

La metodología presentada en este trabajo ha permitido realizar un análisis del aprovechamiento del agua de riego a escala regional. Su aplicación requiere disponer de las capacidades necesarias para aplicar las técnicas de teledetección descritas. Asimismo, también requiere que las zonas regables dispongan de un sistema de gestión del regadío como Ador o similares.

La aplicación de esta metodología en Riegos del Alto Aragón ha cuantificado las diferencias entre los aprovechamientos potencial y real del agua de riego en las condiciones del periodo de estudio. Además, ha permitido identificar aquellas comunidades de regantes cuyo potencial de mejora es mayor. Dichas comunidades serían por tanto prioritarias para realizar los análisis que, a escala local, serían necesarios para determinar las medidas a adoptar para mejorar su aprovechamiento del agua.

Una menor disponibilidad de agua, como consecuencia de un evento de sequía hidrológica, supuso una disminución de las diferencias entre los aprovechamientos potencial y real. No obstante, la producción bruta del regadío disminuyó notablemente debido a la obligada reducción de la intensidad del patrón de cultivos. Igualmente, las comunidades con una tecnología de riego más moderna presentaron un mayor aprovechamiento del agua. Mayor aprovechamiento que también supuso un mayor consumo de recursos hídricos. Estos resultados permiten pensar que la modernización de las infraestructuras hidráulicas que se está llevando a cabo en Riegos del Alto Aragón desde el periodo de estudio mejorará el aprovechamiento del agua. Futuros estudios basados en la metodología presentada en este trabajo deberían permitir cuantificar dicha mejora.

#### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por la Fundación Agencia Aragonesa para la Investigación y el Desarrollo (ARAID) a través de la convocatoria "Jóvenes Investigadores 2010" ARAID-IberCaja. La beca predoctoral de I. Chalghaf y el contrato de investigación de S. Lecina han sido financiados por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Agroalimentaria (INIA). Los trabajos con SIG y teledetección han sido posibles gracias a la labor de Clara Portero y Rosa Gómez (CITA). Se agradece la colaboración prestada por la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón, la Confederación Hidrográfica del Ebro y la Lonja Agropecuaria de Lérida "Mercolleida".

## 5- Bibliografía

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration : guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 56.FAO, Rome, Italy.
- Baker, F.A., Verbyla, D.L., Hodges, C., Ross, E.W., 1993. Classification and regression tree analysis for assessing hazard of pine mortality caused by *Heterobasidion annosum*. *Plant Dis.* 77 (2), 136-139.
- Davis, F.W., Dozier, J., 1990. Information analysis of a spatial database for ecological land classification. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 56 (5), 9.
- Doorenbos, J., Kassam, A.H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper no. 33.FAO, Rome, Italy.
- Elhaddad, A., Garcia, L.A., 2011. ReSET-Raster: Surface Energy Balance Model for Calculating Evapotranspiration Using a Raster Approach. *J. Irrig. Drain. Eng.* 137 (4), 203-210.
- Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E., Aragüés, R. 2009. Efecto de la modernización de regadíos sobre la cantidad y la calidad de las aguas: la cuenca del Ebro como caso de estudio. Monografía INIA nº 26. Serie Agrícola. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid (España). 92 pp.
- Lecina, S., Playán, E., Isidoro, D., J., Isidoro, D., Zapata, N., Salvador, R., Faci, J.M., Aragüés, R. 2010a. La contabilidad del agua aplicada al análisis de la modernización de Riegos del Alto Aragón. *Riegos y Drenajes XXI*, 170:24-31.
- Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E., Aragüés, R. 2010b. Irrigation Modernization and Water Conservation in Spain: The Case of Riegos del Alto Aragón. *Agric. Wat. Manage.*, 97(10):1663-1675.
- 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.
- Martínez-Cob, A., García-Vera, M.A, 2004. Revisión de las necesidades hídricas netas de los cultivos de la cuenca del Ebro. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza, España. Informe inédito. <http://digital.csic.es/handle/10261/15896>.
- 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*, 134, 44-50.
- 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). *Agric. Water Manage.* 87 (2), 209-216.