

Estimación mediante Imágenes MERIS de la Detracción de Agua debida al Regadío

Use of MERIS Imagery for the Estimation of Water Abstraction due to Irrigation

J. Giménez Moreno, C. Martín De La Vega Padorno, P. Porcel Prado, y R. Escudero Barbero,
jgimo@tragsa.es

*Tecnologías y Servicios Agrarios S. A.
C/ Julián Camarillo nº 6- B 28037 Madrid*

Recibido el 20 de noviembre de 2007, aceptado el 27 de marzo de 2008

RESUMEN

El artículo presenta una metodología para la estimación de la detracción de agua debida al regadío utilizando imágenes de satélite MERIS y Landsat para la obtención de superficies en regadío.

Las superficies obtenidas mediante imágenes Landsat provienen de una clasificación supervisada. Por el contrario la generación de superficies mediante datos MERIS se hace a partir de una serie multitemporal de imágenes, calculando los parámetros biofísicos de fracción de cubierta verde y heterogeneidad de cubierta verde. Las superficies se obtienen mediante la inversión de modelos de reflectancia y de evolución fenológica de cultivos para una unidad de agregación previamente definida. El resultado final no es un mapa de localización de cultivos sino de estimación de superficie de un determinado cultivo dentro del área de análisis, en este caso el municipio. El cálculo de las necesidades hídricas sigue la metodología tradicional de la FAO adaptada a la zona de estudio.

El trabajo se enmarca dentro de la iniciativa GMES y persigue estudiar la viabilidad técnica y económica de la metodología con objeto de proporcionar una herramienta que ayude a las Administraciones competentes a realizar el seguimiento y cumplimiento de la Directiva Marco de Agua.

Los resultados se presentan para la Unidad de Gestión Económica del Gállego-Cinca en la Cuenca del Ebro

Palabras clave

Teledetección, MERIS, Parámetros Biofísicos, Directiva Marco del Agua, regadío, GMES

ABSTRACT

In this paper we present a methodology for the estimation of water abstraction due to irrigation, using MERIS and Landsat remote sensing data to obtain irrigated surfaces.

Surfaces obtained from Landsat imagery come from a supervised classification. On the contrary, from the processing of a multitemporal set of MERIS imagery biophysical parameters of green cover fraction and heterogeneity of green cover vegetation are retrieved. From these and by means of the inversion of models of reflectance and crop phenological cycle, acreage maps are obtained, considering one crop at a time per aggregation unit.

Water heights and volumes are calculated using FAO methodology adapted to local conditions.

The work is carried out under GMES initiative and aims to study technical and economic feasibility of the methodology in order to provide an aid decision tool for Administrations to do their monitoring and reporting towards the Water Framework Directive (WFD).

Results are discussed in detail for Water Management Unit Gállego- Cinca

Keywords

Remote Sensing, MERIS, biophysical parameters, Water Framework Directive, irrigation, GMES

INTRODUCCIÓN

La estimación de los volúmenes de agua necesarios para el riego requiere conocer tanto las necesidades hídricas de los cultivos como las superficies ocupadas por los mismos. Las necesidades hídricas se obtienen combinando modelos de cultivos con datos meteorológicos. Las superficies se obtienen generalmente a partir de censos, estadísticas agrarias, declaraciones de agricultores y muestreos de campo.

En este artículo presentamos formas alternativas de obtención de las superficies mediante la utilización de imágenes de satélite MERIS y Landsat para la Unidad de Gestión Económica del Gállego-Cinca en la Cuenca del Ebro. Los trabajos corresponden al proyecto Geoland, dentro de las actividades de GMES financiadas por el Sexto Programa Marco.

GMES (Global Monitoring for Environment and Security) es una iniciativa europea, lanzada en 1998 conjuntamente por la Comisión Europea y la Agencia Espacial Europea. Diseñada inicialmente para poner las tecnologías de la información y de la Observación de la Tierra al servicio de la gestión medioambiental y la seguridad, actualmente está reconocida como un componente estratégico de la Política Espacial Europea.

Existen dos líneas de acción GMES: Por un lado GMES es parte de los Programas Marco de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Comisión Europea y por otro es parte del programa "Earth Watch Programme" de la Agencia Espacial Europea. Dentro de este último programa se desarrollan una serie de servicios GSE (GMES Service Element) en los ámbitos de *Tierra, Mares y Costas, Áreas Polares, Forestal, Riesgos de Inundaciones, Riesgos Geológicos y Seguridad de Alimentos*, con objeto de ayudar a las instituciones al cumplimiento de normativas y protocolos tales como Directiva Marco del Agua, la Estrategia Temática del Suelo, PAC, Protocolo de Kyoto, Convención sobre Biodiversidad y Directiva Natura 2000.

Los proyectos en los que participa Tragsatec dentro de este contexto GMES tienen como motor la Directiva Marco del Agua y pretenden dotar tanto a las Administraciones (Nacional, Autonómica y Local) como a los agentes involucrados de herramientas que les permitan hacer efectivas sus obligaciones normativas.

El artículo se centra en los resultados obtenidos al aplicar la metodología en la Unidad de Gestión Económica de Gállego-Cinca, (en azul en la Fig. 1) que tiene una extensión de aproximadamente 11.500 Km². Los regadíos de la UGE se encuentran en expansión según la aplicación y desarrollo de las previsiones del Plan Nacional de Regadíos (Horizonte 2008).

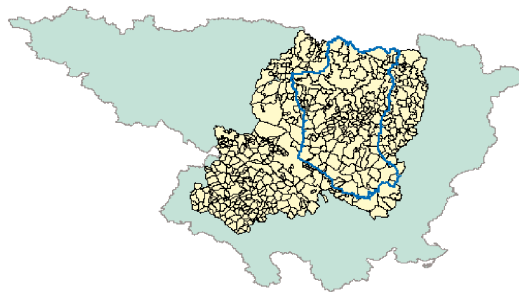


Figura 1. Ámbitos de estudio: Gállego-Cinca (borde en azul), Zaragoza Huesca (amarillo) y Cuenca del Ebro (verde)

Fuente Elaboración propia a partir de datos oficiales

La estimación de superficies de cultivos se ha hecho mediante dos tipos de imágenes de distinta resolución, MERIS y Landsat. La garantía de obtención de imágenes MERIS es muy superior a la de Landsat. Sin embargo la resolución de MERIS no permite la misma metodología de trabajo que con datos Landsat. A pesar de ello, la utilidad de MERIS se debe a su mayor sensibilidad en el rango del rojo e infrarrojo cercano, como se aprecia en la Tabla 1 que compara las longitudes de banda de las 15 bandas del sensor MERIS con las correspondientes de Landsat. Nótese que dicha correspondencia es solo aproximada.

METODOLOGÍA

Modelo de presión de agua debida al regadío

La estimación de volúmenes de agua para regadío se hace multiplicando las necesidades hídricas de los cultivos por la superficie de cada uno de ellos.

Estas necesidades teóricas (netas) se obtienen mediante la diferencia de la evapotranspiración de los cultivos y la precipitación efectiva de la zona de estudio. Las variables utilizadas pertenecen a un año medio y se conocen a nivel comarcal. Para calcular las necesidades reales (brutas) hay que aplicar un factor de corrección que tenga en cuenta la eficiencia

del riego. Finalmente las necesidades hídricas brutas se multiplican por los valores de superficies para obtener los volúmenes de agua necesarios

Para concluir, el modelo es validado mediante los volúmenes de agua facturados por la Confederación Hidrográfica del Ebro en la UGE, que se corresponde con la zona de Riegos del Alto Aragón.

Actualmente el cálculo de las superficies de cultivo se hace mediante las Hojas 1T del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, censos agrícolas (cada 10 años) y declaraciones del la PAC (estos últimos, datos de acceso muy restringido). Ninguno de

estos métodos utiliza técnicas de Teledetección y los datos no son accesibles hasta pasados al menos dos años después del año agrícola correspondiente.

Los datos obtenidos mediante teledetección pueden incluirse en los modelos tradicionales de estimación de demandas hídricas. La viabilidad de hacer esto para datos Landsat se demostró en el proyecto SAGE. Actualmente en Geoland se demuestra la viabilidad de hacerlo mediante los valores agregados de datos procedentes de imágenes MERIS.

La metodología general del estudio se describe en la figura 2.

Banda Nº	MERIS		Landsat		
	µm	Max. (nm)	Banda Nº	Min (µm)	Max (µm)
1	0,407	0,417			
2	0,437	0,447	1	0,45	0,52
3	0,484	0,494			
4	0,504	0,514			
5	0,554	0,564			
6	0,614	0,624	2	0,52	0,63
7	0,659	0,669	3	0,63	0,76
8	0,677	0,684			
9	0,703	0,713			
10	0,749	0,757			
11	0,759	0,763	4	0,76	0,90
12	0,771	0,786			
13	0,854	0,874			
14	0,879	0,889			
15	0,894	0,904			
			5	1,55	1,75
			6	10,40	12,50
			7	2,08	2,35

Tabla 1. Comparación de bandas entre los sensores MERIS y Landsat. Fuente- Elaboración propia a partir de datos ESA y Eurimage

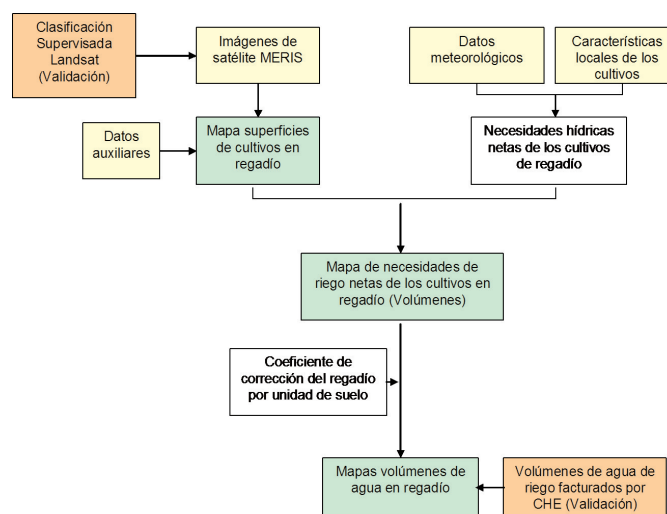


Figura 2. Metodología general del proyecto. Elaboración propia

Cálculo de las superficies

Mapas agregados de superficies de cultivos mediante imágenes MERIS.

La resolución espacial del sensor MERIS hace inviable la generación de una clasificación supervisada que genere un mapa píxel a píxel como los que se obtienen mediante SPOT o Landsat. Sin embargo, el número y las longitudes de onda de las bandas del sensor, así como su frecuencia temporal de paso por un mismo punto cada 3 días hacen posible otro tipo de tratamiento generando algoritmos que simulen el comportamiento de los cultivos, atendiendo a su ciclo de cultivo y al porcentaje de su presencia en una determinada zona.

La metodología del proceso de datos MERIS se basa en que la respuesta de píxel MERIS (de 300 x 300 metros) corresponde a un compuesto de cubiertas. Se trabaja con un compuesto de 9 píxeles MERIS. El análisis de imágenes MERIS trata de simular el comportamiento de un píxel compuesto dentro del ciclo de las fechas de las imágenes. Teniendo en cuenta el ciclo de cultivo de cada compuesto y el hecho de que las bandas del sensor MERIS son apropiadas para medir parámetros biofísicos que caracterizan el desarrollo de los cultivos, mediante una serie de algoritmos, se extrae la fracción de cultivo en cada unidad de análisis. Por ello, para calibrar los modelos y los algoritmos es necesario tener información lo más detallada posible sobre el ciclo fenológico de los cultivos de una determinada zona.

Las imágenes MERIS utilizadas son de las siguientes fechas,

08/03/2003
12/03/2003
06/04/2003
13/04/2003
02/05/2003
14/05/2003
28/05/2003
06/06/2003
19/06/2003
22/06/2003
07/07/2003
23/7/2003
09/08/2003

12/08/2003

24/08/2003

12/09/2003

Antes de poder extraer los índices de los parámetros biofísicos, las imágenes MERIS conllevan un pre-proceso habitual con intercambio de formatos de las imágenes originales adquiridas, corrección geométrica, extracción del área de interés y registro de la secuencia de datos al área de interés.

A partir de ahí, se lleva a cabo la *Extracción de parámetros biofísicos y obtención de Mapas Multitemporales*. En este paso se estiman, a partir del espectro de reflectancia medido por MERIS, los parámetros biofísicos que sirven para caracterizar el estado de la vegetación. Se basa en la inversión de un modelo de transmisión de radiación en la atmósfera que incorpora modelos que simulan la reflectancia de la vegetación tales como SAIL (Verhoef, A., 1984) y PROSPECT (Jacquemoud, S. y F. Barret, 1990)

Los modelos de reflectancia tradicionales se basan en el supuesto de que el píxel es homogéneo. Sin embargo, el píxel MERIS es un compuesto de diferentes tipos de cubierta y suelo desnudo. La empresa colaboradora con Tragsatec, Infoterra France, ha perfeccionado una serie de algoritmos desarrollados para extraer, del compuesto multitemporal de 16 bandas MERIS, unos parámetros biofísicos que simulan la respuesta espectral del píxel compuesto. Estos índices se denominan: **Fracción de verdor de la cubierta (GLCV) y Heterogeneidad de la cubierta verde (GCVV)**.

El resultado de este proceso son los mapas de GLCV y GCVV para cada fecha de imagen. Estos mapas se generan automáticamente y sirven para analizar, a través de estos parámetros, el ciclo del cultivo.

El proceso general se ilustra en la figura 3 y un ejemplo de los mapas de GLCV para dos fechas se ilustra en la figura 4.

Posteriormente hay que calcular la fracción de cultivos en las unidades espaciales de análisis (en nuestro caso municipios). Este paso se apoya en la definición de modelos fenológicos para cada uno de los cultivos relevantes de la zona.

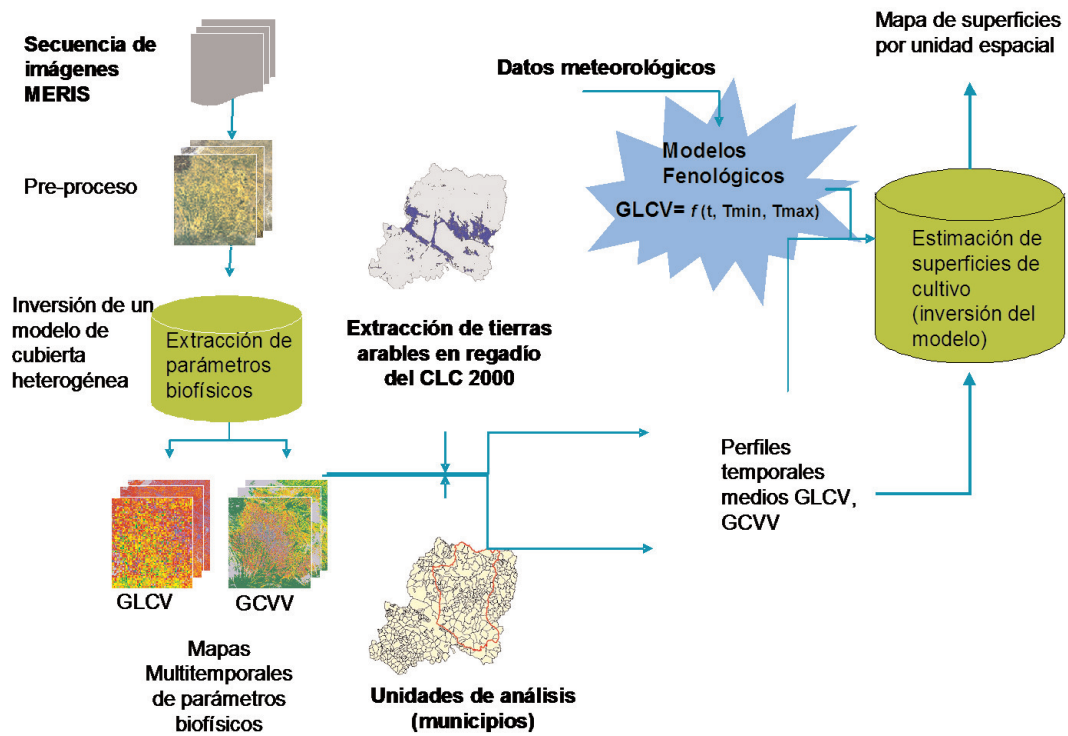


Figura 3 Tratamiento de las imágenes MERIS para obtener el mapa agregado. Fuente: Infoterra (modificado)

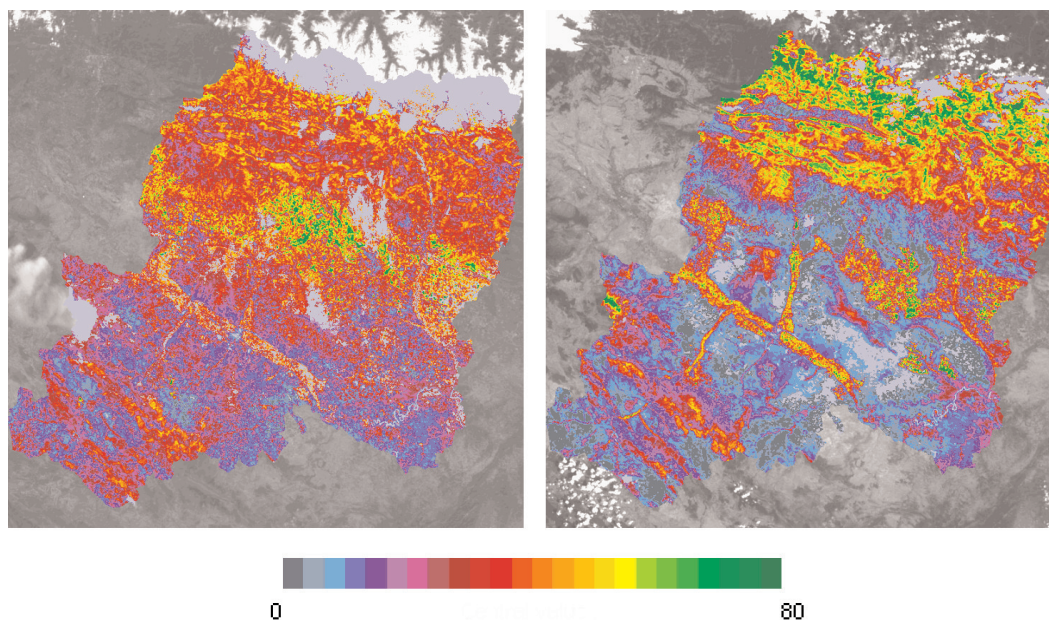


Figura 4. Índice GLCV (0 a 80) para las fechas 6 abril de 2003 (izda.) y 7 de julio de 2003 (dcha.). Fuente: Infoterra

El modelo fenológico desarrollado y aplicado en este trabajo es una modificación del modelo fenológico que Barret desarrolló para el maíz en 1986. En nuestro caso, se considera el índice GLCV como variable principal, se tiene en cuenta la fecha de siembra como parámetro del modelo y se simula el desarrollo de otros cultivos además del maíz. Así, para cada tipo de cultivo ci el modelo se define:

$$GLCV_{ci}(T) = K_{ci} \left[\frac{1}{1 + e^{-b_{ci}(AT - T_{i_{ci}})}} - e^{a_{ci}(AT - T_{s_{ci}})} \right]$$

Donde: T: Estado de evolución del cultivo medido desde la fecha de siembra; K: Asíntota de la fase de crecimiento; T_i : Punto de inflexión durante la fase de crecimiento ($^{\circ}C$); b: Tasa de crecimiento ($^{\circ}C^{-1}$); a: Tasa de senescencia ($^{\circ}C^{-1}$); T_s : Estado de desaparición de la hoja ($^{\circ}C$)

En la zona de estudio se lograron discriminar con las 16 fechas MERIS, tres tipos de cultivos:

- Forrajeras
- Cultivos de verano + Arroz
- Cereal

La unión de cultivos de verano + arroz se debe a que sus perfiles temporales de variación de GLCV no permiten su discriminación en el área de estudio según se ve en la figura 5. La superficie del arroz se extrae del CLC 2000.

Los modelos de los cultivos se combinan linealmente para modelizar el compuesto de cultivos definiendo un GLCV y un GCVV, para cada unidad espacial.

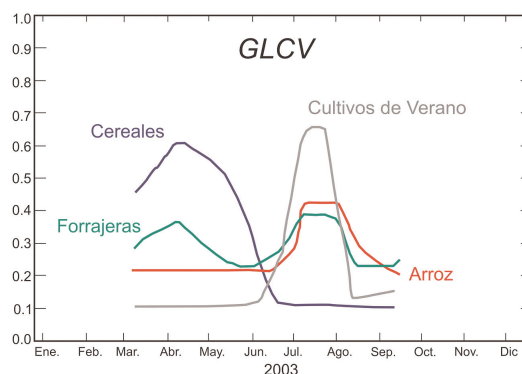


Figura 5. Modelización del perfil temporal de los cultivos de la zona. Fuente: Infoterra

El resultado final es la estimación de cada grupo de cultivos por la unidad espacial seleccionada. Los datos vienen expresados de forma gráfica compatible en formato GIS: Mapa Agregado de Superficie de Cultivos MERIS 2003. Se genera un mapa por cada grupo de cultivos, como se muestra en las figuras 6 a 9. La estimación de superficies es válida a escala municipal, no permitiendo el sistema una localización espacial concreta de los cultivos.

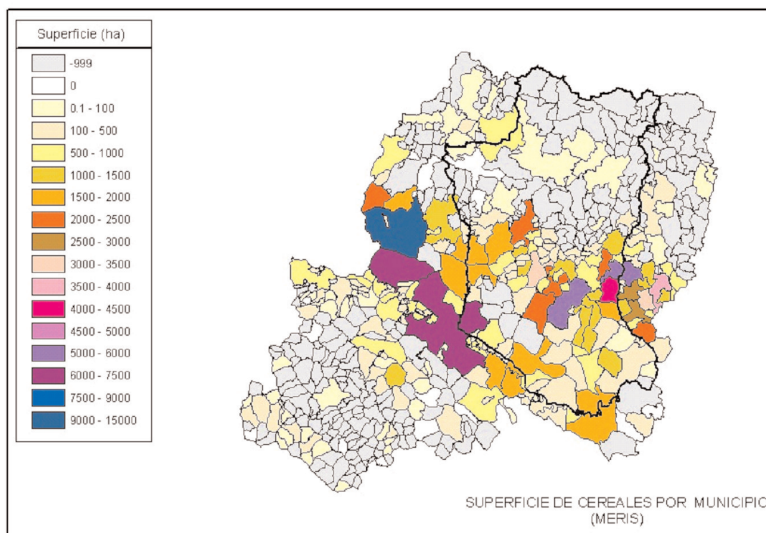


Figura 6. Mapa agregado de superficie de cultivos para el cereal. Fuente: Infoterra- France

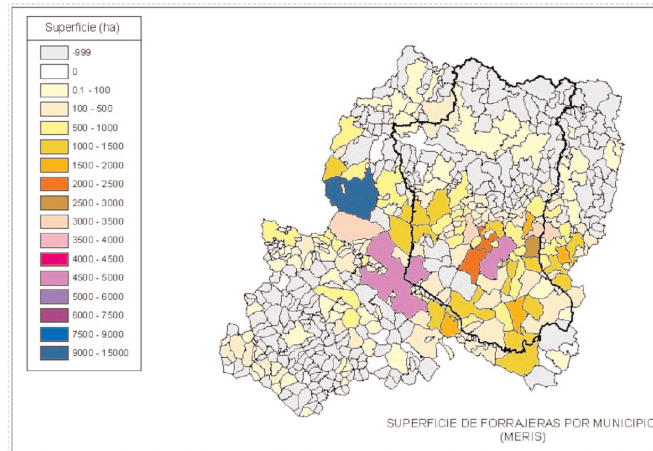


Figura 7. Mapa agregado de superficie de cultivos para forrajeras. Fuente: Infoterra- France

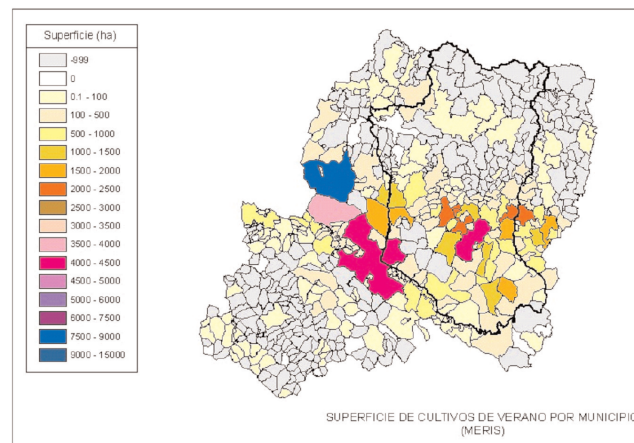


Figura 8. Mapa agregado de superficie de cultivos para cultivos de verano. Fuente: Infoterra- France

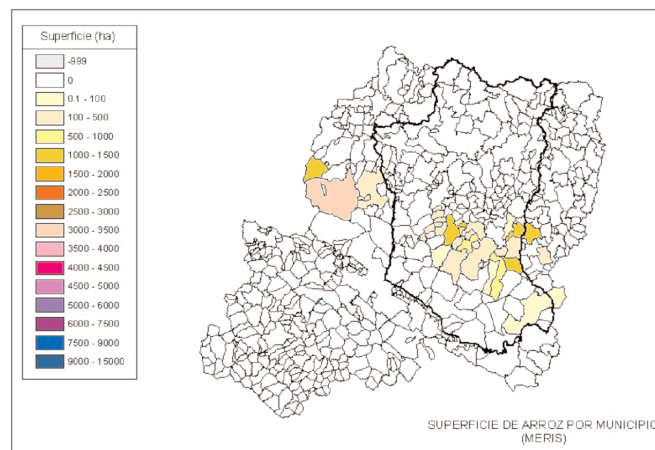


Figura 9. Mapa agregado de superficie de cultivos para el arroz. Fuente: Infoterra- France adaptado de Corine Land Cover 2000

Superficies de Cultivos a partir de imágenes Landsat

El tratamiento con Landsat es una clasificación multitemporal supervisada a partir de tres fechas de la órbita 199/031: 10/03/2003, 29/05/2003, 14/07/2003. El tratamiento se hizo sobre la unidad de gestión económica UGE de Gállego-Cinca (contorno negro en la figuras 6-9).

Una vez preprocesadas las imágenes (correcciones radiométrica y geométrica) y antes de clasificar, las imágenes se recortaron con una máscara de regadío procedente del CLC 2000. Como datos de apoyo en la clasificación se utilizaron la cobertura de usos de suelo CLC 2000 y SIGPAC. Para la clasificación se tomaron muestras de cereales de invierno, forrajeras, arroz y cultivos de verano. Los cultivos leñosos se extrajeron de la cobertura de SIGPAC. El resultado

de este proceso es una clasificación supervisada donde cada píxel pertenece a un cultivo. Las superficies de cada cultivo se obtienen por la suma del número de píxeles de cada clase. La clasificación Landsat obtenida se muestra en la Figura 10.

Comparación de los resultados obtenidos mediante MERIS y Landsat

El tratamiento MERIS se hizo para Zaragoza Huesca, mientras que debido a disponibilidad de imágenes, la clasificación Landsat se hizo sólo para la UGE Gállego-Cinca. Para poder comparar ambos resultados entre sí y con los de las estadísticas agrarias, el estudio comparativo se ha llevado a cabo en los municipios completos y comunes a las tres fuentes de datos (MERIS; Landsat y estadísticas de la DGA). En total son 79 municipios que aparecen en amarillo en la figura 11.

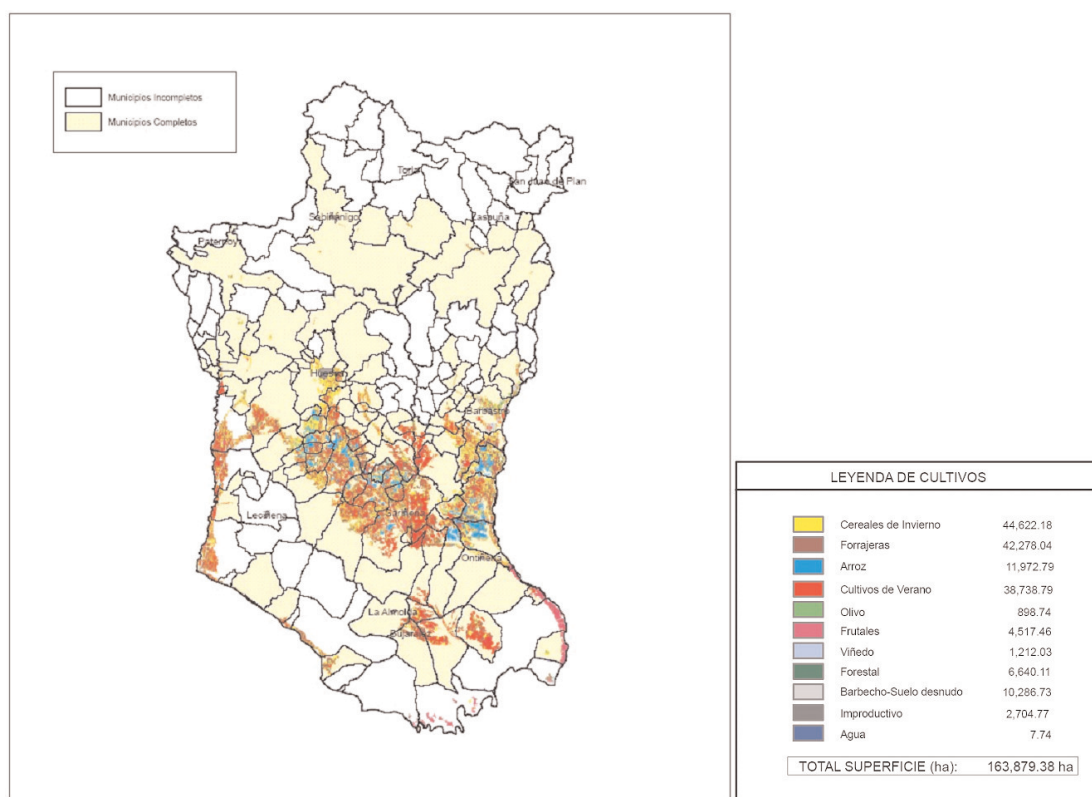


Figura 10. Clasificación Landsat para la zona Gállego-Cinca. Fuente: Tragsatec

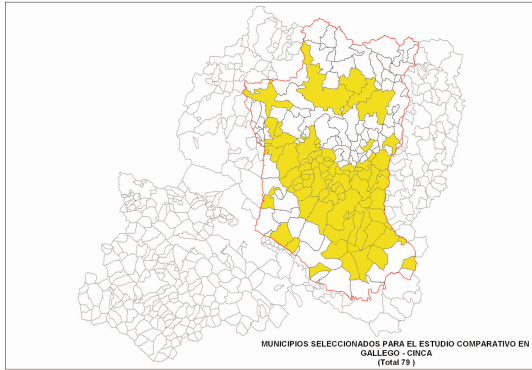


Figura 11. Selección de municipios para el estudio comparativo. Fuente: Elaboración propia

Analizando tanto los datos globales como los resultados detallados que se obtienen por municipio, observamos que, salvo para los cultivos de verano, el tratamiento MERIS sobreestima las superficies de cultivo en regadío (Figura 12).

Posiblemente esto se deba al hecho de que al discriminar solo tres tipos de cultivos se fuerce a clasificar otros cultivos, cuya curva fenológica solape con los principales, en una de estas tres clases. También puede deberse al tratamiento mediante imágenes MERIS: al rasterizar la máscara de regadío del Corine Land Cover al tamaño de celda de proceso (900 x 900 metros), aumente la superficie inicial.

Sin embargo, los resultados obtenidos con MERIS son aceptables para la estimación de superficies de cultivo y las demandas de riego que generan.

Una estimación de los errores de las superficies obtenidas las da el error medio global que se define como:

$$R = 1 - \frac{\sum \text{datosMERIS}}{\sum \text{datosDGA}}$$

$$R = 1 - \frac{\sum \text{datosLANDSAT}}{\sum \text{datosDGA}}$$

R MERIS	-0.18
R Landsat	0.02

Para este estadístico R, valores próximos a cero (en valor absoluto) son buenos. Ambos valores obtenidos para MERIS y Landsat son buenos pero el obtenido con Landsat es mejor.

Necesidades hídricas de los cultivos

Para el cálculo de los volúmenes de agua es necesario considerar los siguientes cultivos en regadío presentes en la zona de estudio:

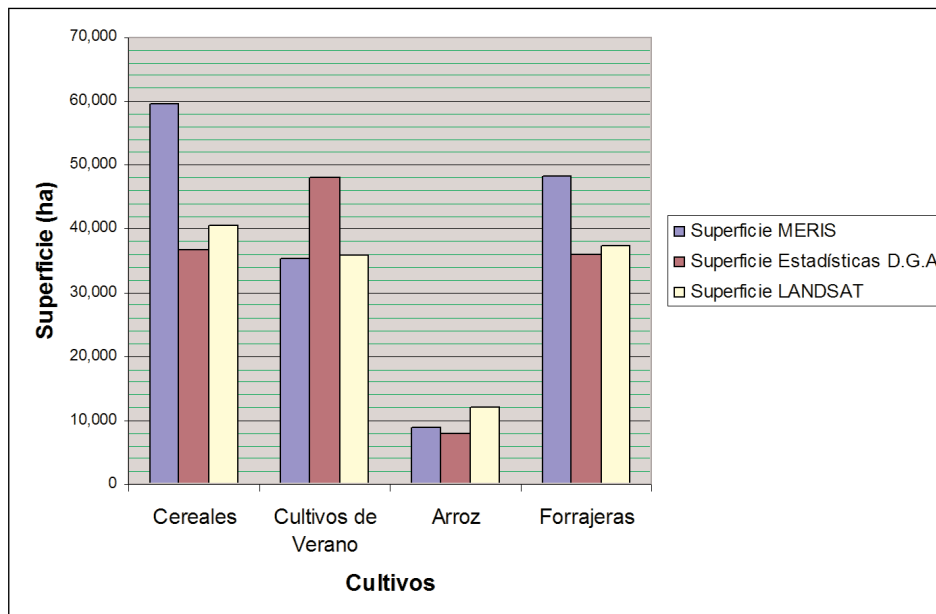


Figura 12. Superficies por cultivo en la zona de comparación MERIS - Landsat. Fuente: Tragsatec

Cultivos herbáceos de verano (maíz, girasol)
 Cultivos herbáceos de invierno (trigo, cebada)
 Forrajeras (alfalfa)
 Arroz
 Cultivos leñosos (viñedo, melocotonero, manzano, peral y cerezo)

Los datos necesarios para calcular los volúmenes finales se han tomado de Martínez Cob (1998). En concreto estos datos son la evapotranspiración de referencia E_{To} , el coeficiente de cultivo K_c , la evapotranspiración del cultivo E_{Tc} , la precipitación efectiva PE , la Necesidad Hídrica neta, coeficiente de eficiencia de riego y la necesidad hídrica bruta.

Los autores adaptan la metodología FAO por el método de cálculo de E_{To} de Blaney-Criddle, puesto que es un método de buen rendimiento para la zona (Faci, 1992; y 1994).

Para cada comarca de trabajo y cultivo, la evapotranspiración mensual del cultivo (E_{Tc}) se calculó mediante Doorenbos y Pruitt (1977):

$$E_{Tc} = K_c \times E_{To}$$

Donde:

E_{Tc} = evapotranspiración mensual del cultivo, mm/día;

K_c = coeficiente de cultivo mensual,

E_{To} = evapotranspiración mensual de referencia, mm/día

El cálculo de E_{To} fue realizado por los autores citados en cada estación y mes por la ecuación de Doorenbos y Pruitt (1977), que es la siguiente:

$$E_{To} = [a + b p (0,46 T_m + 8,13)]$$

Donde:

E_{To} = media mensual de la evapotranspiración de referencia (mm/día);

a, b = coeficientes de calibración climática local;

p = porcentaje diario de horas diurnas anuales;

T_m = media mensual de la temperatura media del aire °C;

Los valores de los coeficientes de cultivo (K_c) se obtienen según metodología FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977), adaptada a las condiciones aragonesas (Agencias Comarcales de Extensión Agraria de Aragón) para los cultivos de mayor importancia económica o superficie en regadío. El valor de dichos coeficientes así como de las fechas de siembra y recolección, para cada cultivo de regadío y Comarca Agraria de Aragón, también han sido recogidos por la Diputación General de Aragón en la publicación citada anteriormente.

Las necesidades hídricas netas vienen calculadas mediante la fórmula:

$$NH_n \text{ (mm/mes)} = E_{Tc} \text{ (mm/mes)} - PE \text{ (mm/mes)}$$

Finalmente, considerando el coeficiente de eficiencia del sistema de riego se obtienen las necesidades hídricas brutas. El coeficiente de riego es un factor correctivo que se aplica a las necesidades hídricas netas al considerar que todo sistema de riego produce pérdidas de agua que son inherentes a la propia práctica de riego. En el caso de Gállego-Cinca se ha considerado un valor medio de 0,75.

Cálculo de los volúmenes y comparación

Los volúmenes de agua realmente utilizados en el regadío son el resultado de multiplicar las necesidades hídricas brutas por la superficie de cada cultivo presente en la UGE. Los resultados se presentan por comarca y grupo de cultivo, en las tablas 2 y 3 y figuras 13 y 14.

La validación del modelo se hace a partir de la Memoria 2003 que elabora la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 2003). Los resultados de las campañas 2002-2003 en Regadíos del Alto Aragón, según la Memoria 2003 de la CHE, dan como resultado un valor de demanda para el Alto Aragón de 913 Hm³. Comparados con este valor, como se aprecia en las tablas 2 y 3, los volúmenes de riego estimados resultan muy aproximados en el caso de Landsat y un 9% superiores en los obtenidos de MERIS.

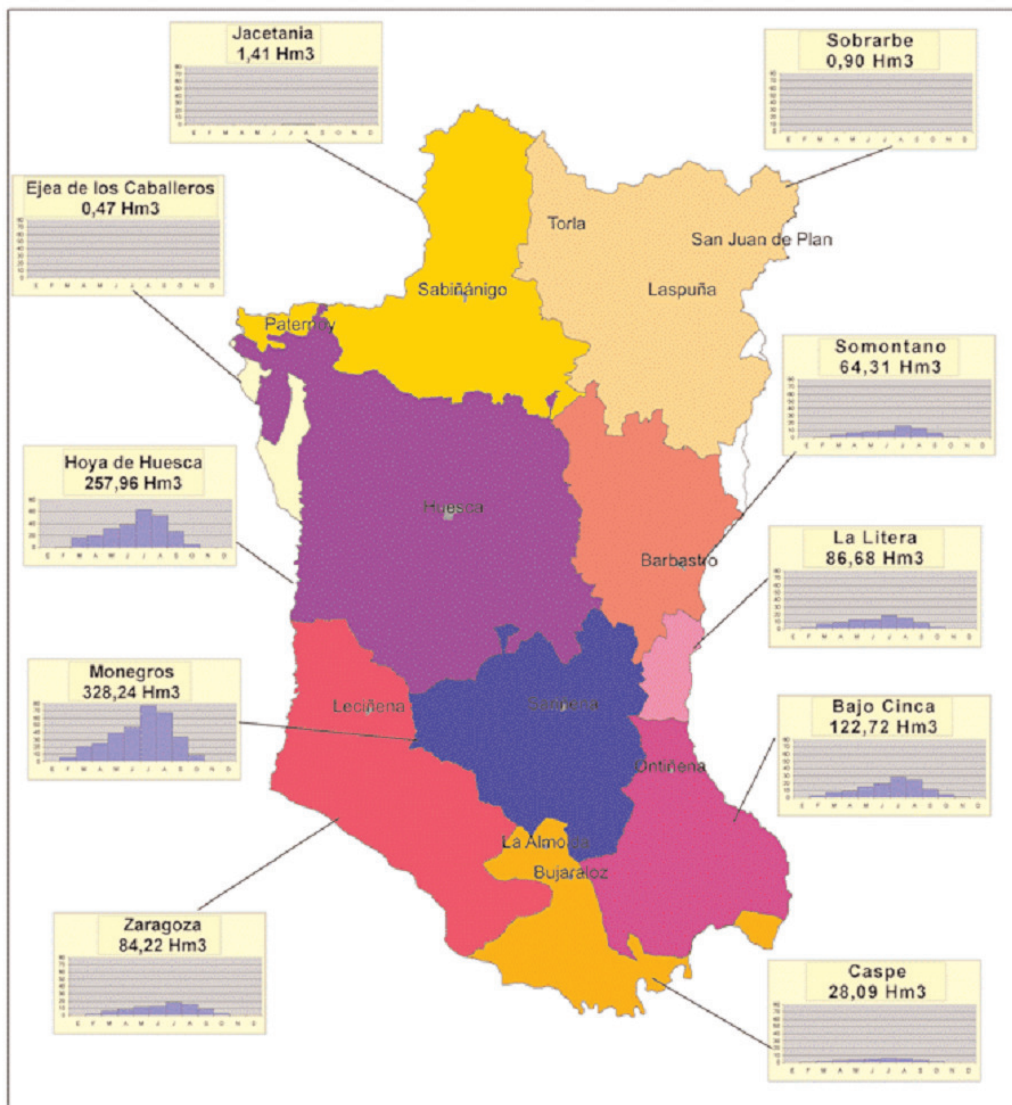
La representación de los resultados obtenidos mediante MERIS se muestra en la figura 13 y los resultados obtenidos con Landsat en la figura 14.

COMARCA	Volúmenes brutos (Hm ³)					
	Cult. Invierno	Cult. Verano	Arroz	Cult. Forrajeros	Cult. Leñosos	Total
Jacetania	0,21	0,31	0,00	0,88	0,00	1,41
Sobrarbe	0,14	0,38	0,00	0,38	0,01	0,90
Hoya de Huesca	45,20	66,57	33,20	111,15	1,83	257,96
Somontano	12,78	13,48	0,37	29,87	7,79	64,30
Monegros	47,71	102,30	35,52	141,11	1,60	328,24
La Litera	19,12	19,20	9,27	38,25	0,83	86,68
Bajo Cinca	15,32	27,70	13,49	46,30	19,91	122,72
Ejea de los Caballeros	0,12	0,06	0,10	0,19	0,00	0,47
Zaragoza	18,34	28,14	0,00	36,28	1,46	84,22
Caspe	4,69	6,53	0,00	16,57	0,28	28,07
Total	163,64	264,68	91,96	421,00	33,71	974,99

Tabla 2 Volúmenes brutos por cultivo y comarca (Hm³) según superficies MERIS (ha). Fuente: elaboración propia

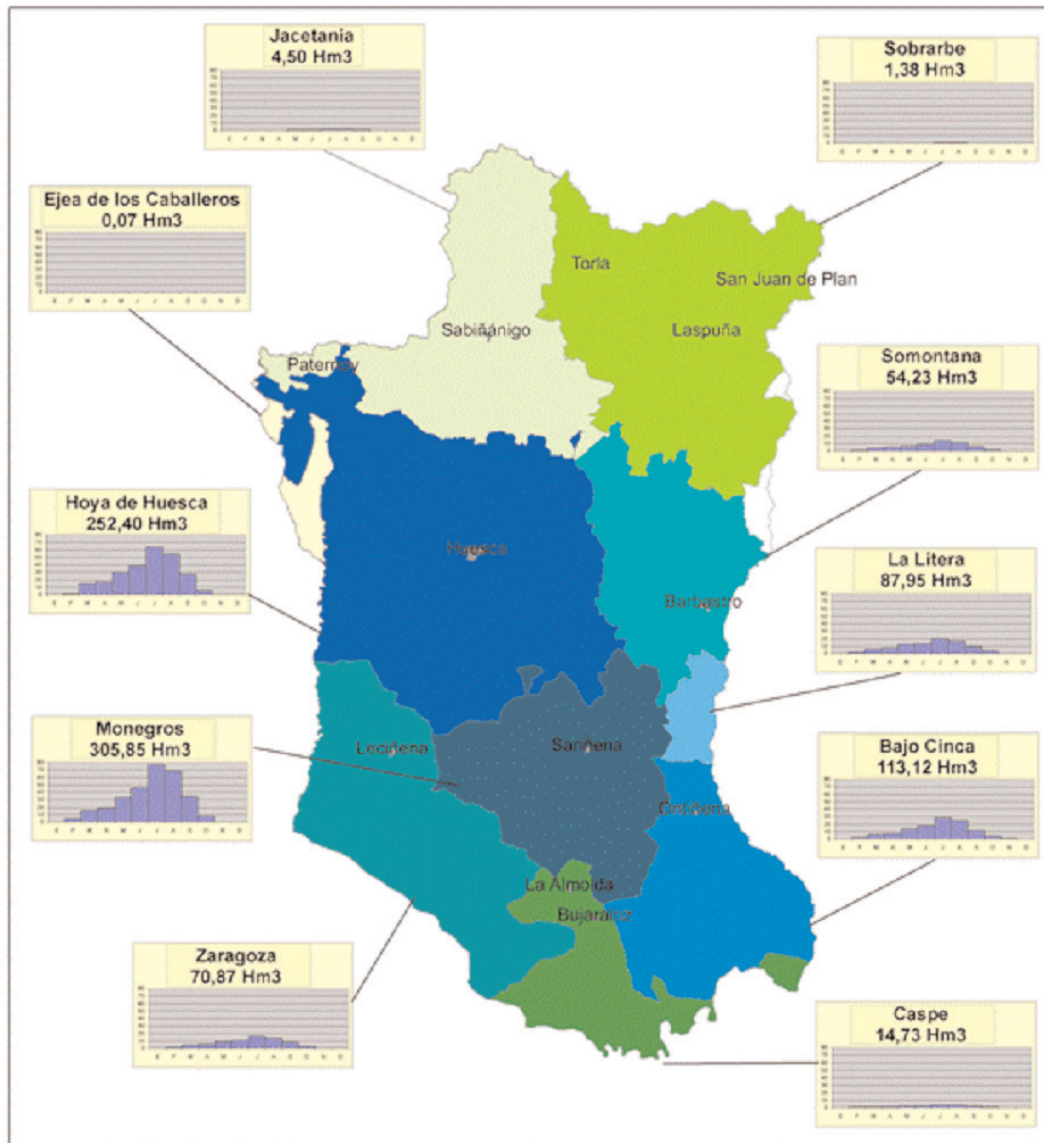
COMARCA	Volúmenes brutos (Hm ³)					
	Cult. Invierno	Cult. Verano	Arroz	Cult. Forrajeros	Cult. Leñosos	Total
Jacetania	0,06	0,04	0,03	0,31	0,00	0,45
Sobrarbe	0,13	0,07	0,05	1,12	0,01	1,38
Hoya de Huesca	36,94	67,18	47,19	99,26	1,83	252,40
Somontano	10,66	17,17	0,78	17,82	7,79	54,23
Monegros	30,97	114,75	39,32	119,22	1,60	305,85
La Litera	12,53	11,02	24,55	39,02	0,83	87,95
Bajo Cinca	11,13	33,42	18,02	30,64	19,91	113,12
Ejea de los Caballeros	0,04	0,01	0,02	0,00	0,00	0,07
Zaragoza	10,33	22,22	0,49	36,37	1,46	70,87
Caspe	1,47	6,15	0,23	6,60	0,28	14,72
Total	114,26	272,03	130,69	350,36	33,71	901,05

Tabla 3 Volúmenes brutos por cultivo y comarca (Hm³) según superficies Landsat (ha). Fuente: elaboración propia



LEYENDA DE NHb (Hm3)		
5001 - Ejea de los Caballeros	0,47	
2202 - Sobrarbe	0,90	
2201 - Jacetania	1,41	
5007 - Caspe	28,07	
2205 - Somontano	64,30	
5005 - Zaragoza	84,22	
2207 - La Litera	86,68	
2208 - Bajo Cinca	122,72	
2204 - Hoya de Huesca	257,96	
2206 - Monegros	328,24	
TOTAL NHb:	974,99 Hm3	

Figura 13. Mapa de necesidades hídricas brutas por superficie comarcal para datos MERIS. Los gráficos de barras representan la evolución de las necesidades brutas mes a mes. Fuente: Elaboración propia a partir de superficies calculadas por Infoterra Francia



LEYENDA DE NHb (Hm3)		
5001 - Ejea de los Caballeros		0,07
2201 - Jacetania		0,45
2202 - Sobrarbe		1,38
5007 - Caspe		14,72
2205 - Somontano		54,23
5005 - Zaragoza		70,87
2207 - La Litera		87,95
2208 - Bajo Cinca		113,12
2204 - Hoya de Huesca		252,40
2206 - Monegros		305,85
TOTAL NHb:		901,05 Hm3

Figura 14. Mapa de necesidades hídricas brutas por superficie comarcal para datos Landsat. Los gráficos de barras representan la evolución de las necesidades brutas mes a mes. Fuente: Elaboración propia

Para poder comparar los resultados obtenidos mediante MERIS y Landsat es conveniente hacerlo con los datos de necesidades hídricas brutas, ya que los volúmenes consideran las superficies ocupadas por cada cultivo. Como se ha visto, los datos obtenidos de MERIS y Landsat difieren en superficie total de regadío y superficie ocupada por grupos de cultivos. Los resultados totales y por comarcas se muestran en la tabla 4.

Para la UGE, las necesidades hídricas brutas medias (obtenidas por ponderación superficial en cada comarca) ascienden según la superficie obtenida de MERIS a 5.904 m³/ha, un 6% inferior que las resultantes con Landsat. El hecho de que el análisis MERIS arroje una superficie mayor pero una necesidad hídrica ponderada menor se debe a que el proceso mediante datos MERIS ha dado superficies mayores en cultivos como el cereal que tienen necesidades hídricas menores. Esto puede deberse a que la metodología empleada con MERIS fuerza a incluir los cultivos detectados en unas categorías pre-determinadas que en este caso han favorecido al cereal, quizás porque su perfil temporal esté más claro frente a las otras categorías.

Extensión del estudio a toda la cuenca del Ebro

Posteriormente se ha extendido el estudio y la metodología mediante parámetros biofísicos de imágenes MERIS a toda la cuenca del Ebro, también con datos del 2003. En este caso no se ha hecho un estudio simultáneo mediante imágenes Landsat, sino que se ha procedido directamente al cálculo de volúmenes netos y brutos. En la actualidad se están elaborando estos resultados.

CONCLUSIONES

En este trabajo hemos visto como el tratamiento de imágenes MERIS para la generación de mapas agregados de cultivos como entrada al modelo para el cálculo de los volúmenes de agua necesarios para riego, arroja valores compatibles tanto con los resultados de facturación como con resultados obtenidos mediante Landsat. Los volúmenes obtenidos a partir de imágenes MERIS para toda la cuenca parecen avalar estos resultados.

La superficie en regadío de la UGE detectada por MERIS es de 165.129 ha con un consumo medio de 5.904 m³/ha. Para Landsat la superficie obtenida ha sido de 143.335 ha con unas necesidades medias de 6.286 m³/ha. El hecho de que las necesidades obtenidas a partir de MERIS sean inferiores a Landsat, contrariamente a las superficies, se explica por el hecho de que MERIS detecta más superficie en regadío, pero de cultivos con necesidades hídricas menores que los obtenidos con Landsat. (Caso del cereal cuya superficie detectada por MERIS es de 62.700 ha, aproximadamente 18.000 ha más que con Landsat).

El sensor MERIS ofrece ventajas en cuanto a coste y disponibilidad de las imágenes si bien los flujos de trabajo y los algoritmos utilizados son más complicados que los flujos de trabajo mediante Landsat. Por otro lado MERIS sólo distingue bien los cultivos herbáceos.

Sin embargo ambas aproximaciones demuestran en

COMARCA	Superficie de Regadío (ha)		Nh Bruta (m ³ /ha)	
	MERIS	LANDSAT	MERIS	LANDSAT
Jacetania	654	189	2.152	2.380
Sobrarbe	327	405	2.758	3.405
Hoya de Huesca	49.848	45.862	5.175	5.504
Somontano	13.295	11.317	4.836	4.792
Monegros	50.338	43.983	6.521	6.954
La Litera	15.114	13.007	5.735	6.762
Bajo Cinca	17.329	15.595	7.081	7.254
Ejea de los Caballeros	90	21	5.189	3.407
Zaragoza	13.378	10.173	6.295	6.967
Caspe	4.743	2.783	5.918	5.289
Total	165.129	143.335	5.904	6.286

Tabla 4. Necesidades de riego brutas por comarca ponderadas según las superficies MERIS y LANDSAT

nuestro ámbito de interés las ventajas que ofrece el uso de imágenes de satélite para la elaboración de mapas de cultivos en comparación con métodos que no incluyan datos de observación de la Tierra, en concreto:

1. Representación espacial de las superficies de cultivos y por tanto su variación espacio temporal.
2. Buena relación coste beneficio
3. Repetitividad en la obtención de los productos: Aunque actualmente el satélite Landsat está llegando al final de su vida útil, existe un abanico de datos de alta resolución que garantiza la disponibilidad de datos dentro del año agrícola. Con mayor abundancia esto es cierto para los datos de media resolución MERIS. Además es precisamente la mayor demanda y uso de estos servicios la que garantiza su programación por parte de las agencias espaciales.
4. Repetitividad en los cálculos. Los datos procedentes de encuestas están sujetos a errores y sesgos difíciles de cuantificar. La utilización de imágenes de satélite sí permite cuantificar la bondad de las medidas. En el caso de MERIS se ha visto que tiende a sobreestimar las superficies. Este error se puede corregir al perfeccionar el modelo, o tenerlo en cuenta en forma de coeficiente de corrección
5. Repetitividad en los procesos. El tratamiento de datos de Observación de la Tierra permite el establecimiento de protocolos bien definidos de realización de los procesos lo que conlleva la posibilidad de descentralizar la producción, tal como se ha hecho en el marco de colaboración de Infoterra France – Tragsatec.

Los trabajos que aquí se presentan se han financiado mediante el contrato del Sexto Programa Marco de Investigación, SIP3-CT-2003-502871- Project “Geoland”.

BIBLIOGRAFÍA

- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO (2003): Memoria.
- CUENCA, R.H. (1989). *Irrigation system design: an engineering approach*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- DOORENBOS, J. PRUITT, W.O. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. FAO, Roma, Italia.
- FACI, J.M. 1992. *Contribución a la medida y cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) en Aragón*. Institución Fernando el Católico, Diputación Provincial de Zaragoza, Zaragoza, 125pp.
- FACI, J.M., MARTÍNEZ-COB, A., CABEZAS, A. (1994). *Agroclimatología de los regadíos del Bajo Gállego. Doce años de observaciones diarias en Montañana (Zaragoza)*. Diputación General de Aragón, Departamento de Agricultura, Ganadería y Montes, Zaragoza
- INTEGRATED PROJECT GEOLAND (2005): *OWS-W Methods Compendium: Product F-1 Water Abstraction by Irrigation Map*.
- JACQUEMOD, S. y F. BARRET (1990). *PROSPECT: a model of leaf optical properties spectra*. *Remote Sensing of Environment*, 34: 75-91
- MARTINEZ COB, A (1998): *Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón*. Zaragoza. Instituto Fernando el Católico.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. (2001). *Plan Nacional de Regadíos. Horizonte 2008*. Dirección General de Desarrollo Rural, Madrid.
- VERHOEF, W (1985). Light scattering by leaf layers with application to canopy reflectance modelling; the SAIL model. *Remote Sensing of the Environment*, 16: 125-141