

Servicio GMES (AquaSAGE) para la estimación de volúmenes de agua para riego por teledetección en conformidad con la Directiva Marco del Agua.

García Asensio, J.M. (P)⁽¹⁾, Fernández Casals, J.⁽²⁾, Escudero Barbero, R.⁽³⁾

⁽¹⁾ Doctor Ingeniero Agrónomo y Licenciado en Ciencias Ambientales. TRAGSATEC - Área de Ingeniería Rural. C/Julián Camarillo 6. 28037 Madrid. jgas@tragsatec.es.

⁽²⁾ Licenciado en Ciencias Geológicas. TRAGSATEC - Subdirección de Desarrollos – Dpto. Teledetección. C/Julián Camarillo 6. 28037 Madrid. jfc@tragsatec.es.

⁽³⁾ Licenciada en Geografía. TRAGSATEC - Subdirección de Desarrollos – Dpto. Teledetección. C/Julián Camarillo 6. 28037 Madrid. reb@tragsatec.es.

Resumen

La iniciativa GMES (Global Monitoring for Environment and Security) desarrollada conjuntamente por la Comisión Europea y la Agencia Espacial Europea es uno de los marcos de referencia más importantes en los últimos años para el desarrollo de productos y servicios estandarizados y probados basados en técnicas de teledetección y SIG que ayuden a las AAPP a dar cumplimiento de las recientes directivas europeas relacionadas con el medio ambiente

Dentro del proyecto SAGE, uno de los “GMES Service Elements (GSE)” financiados por la ESA, Tragsatec ha participado junto con Astrium (Francia) en el desarrollo del servicio AquaSAGE para la estimación de volúmenes de agua para riego a partir de datos de teledetección. Este servicio intenta ofrecer a las AAPP de los estados miembros unos productos para el cumplimiento de la Directiva Marco del Agua, utilizando para ello Sistemas de Observación Terrestre y Sistemas de Información Geográfica. En España este estudio piloto se ha realizado en la Unidad de Gestión de Gállego-Cinca, con la colaboración de la Confederación Hidrográfica del Ebro

Se han realizado dos fases de este estudio. La primera, a nivel local, se realizó en 2003 en los Regadíos del Flumen (con una superficie de unas 33.000 ha), parte de la Unidad de Gestión Gállego-Cinca, y en 2004, a nivel regional, en la totalidad de la Unidad (con 1.266.340 ha).

Complementario a este servicio es el que Tragsatec y Astrium están desarrollando en el proyecto Geoland. Se están analizando imágenes Meris de baja resolución (300 metros) para obtener estimaciones de demandas brutas de agua a escala de cuenca hidrográfica, con menor periodicidad temporal que en SAGE y menor coste.

1. Introducción y objetivos

Tragsatec ha participado durante 2003 y 2004 en el AquaSAGE, una de las dos partes del proyecto SAGE. El objetivo de estos proyectos es la generación e implementación operativa de una serie de servicios y/o productos que, basados en datos de Observación Terrestre y Sistemas y de otras procedencias, ofrezcan a las AAPP soporte para el cumplimiento de sus obligaciones de seguimiento e información de temas medioambientales y de seguridad dentro de la Unión Europea.

Los servicios que se han desarrollado para AquaSAGE han sido:

- Calidad de las aguas superficiales y subterráneas (Suecia y Alemania)
- Presión del regadío por extracción de agua (Francia y España)

El servicio AquaSAGE está basado en un modelo de balance hídrico que incorpora técnicas de teledetección para la estimación de las superficies en regadío, y herramientas SIG para la integración de datos en el modelo. Este servicio pretende dotar a los organismos de cuenca de información rápida y fiable de las necesidades hídricas netas y brutas de las superficies en regadío que pueda ser integrada en las labores de planificación y seguimiento de las necesidades de agua para riego y de los consumos reales.

En la primera fase del proyecto (estudio local) se estudiaron los Regadíos de Flumen, con una superficie de unas 33.000 ha, donde se disponía de abundante información previa.

En la segunda fase (estudio regional) se amplió el trabajo al conjunto de la Unidad de Gestión Gállego-Cinca que tiene una superficie de 1.266.340 ha. El objetivo primordial ha sido comprobar la

adecuación de la metodología a zonas de mayor tamaño en la que existen diferencias locales que deben ser tenidas en cuenta y donde no se dispone de información de detalle.

Estos servicios y productos van a seguir siendo desarrollados hasta su implantación operativa dentro de otros proyectos GMES en años sucesivos. Este es el caso del proyecto "Geoland", en el que se está analizando la viabilidad de utilizar imágenes Meris de baja resolución (300 metros), para obtener estimaciones de demandas brutas de agua a escala de cuenca hidrográfica, con menor periodicidad temporal que en SAGE y menor coste. La metodología utilizada se basa en la clasificación subpixel de la imagen mediante la inversión de los modelos físicos de desarrollo de los cultivos. Esta metodología está siendo implementada en Francia con resultados satisfactorios en la Cuenca del Adour-Garonne en la que hay gran homogeneidad de cultivos y parcelas grandes. Éste no es el caso habitual en España, por lo que aquí deberá comprobarse si los resultados son lo suficientemente precisos como para ser utilizados con éxito.

Para mayor información sobre ambos proyectos pueden visitar:

<http://www.gmes-sage.info>

<http://www.gmes-geoland.info>

2. Metodología

2.1. Tratamiento de las imágenes de satélite

A partir de las imágenes de satélite y de los datos de referencia de los usos del suelo (verdad terreno) se obtiene, mediante técnicas de clasificación supervisada, el mapa de usos del suelo llamado: mapa de cultivos en regadío.

Se partió de tres imágenes Landsat ETM+ pertenecientes a las fechas: 17 de marzo de 2000, 21 de junio de 2000 y 8 de agosto de 2000.

En primer lugar, las imágenes fueron corregidas tanto atmosféricamente como radiométricamente, obteniéndose valores de reflectividad aparente. Se recortó de cada una de las escenas una subescena que incluía el polígono del área de la UGE Gállego-Cinca y se corrigió geométricamente a partir de puntos de control. En la zona del Flumen se disponía de una muestra de verdad terreno del año 2000 consistente en 44 segmentos de 500 x 500 metros cada uno, lo que representa un 3.4 % de la superficie de regadío de la zona. Esta muestra de verdad terreno se dividió para ser utilizada en dos procesos: la toma de las áreas de entrenamiento de

la clasificación y la validación de los resultados. Todos los cultivos de regadío presentan valores de PC y PI superiores al 75%, excepto el uso "otras forrajeras", que presenta un alto grado de confusión con la alfalfa (20%) y con el cereal (21%). En la 2ª Fase, en la zona del Gállego-Cinca, en la que no se disponía de datos de verdad terreno, se utilizó el mapa actualizado del CORINE Land Cover 2000 (nivel 5). También se obtuvo información complementaria de usos del suelo a partir de la ortofoto color disponible de la zona, utilizando técnicas de fotointerpretación. En primer lugar se generó a partir del CLC2000 una máscara de la zona agrícola del Gállego-Cinca, eliminando las zonas de no regadío.

Se tomaron muestras de los siguientes cultivos en regadío:

- Cultivos herbáceos de verano
- Cultivos forrajeros
- Arroz
- Cultivos herbáceos de invierno
- Cultivos leñosos

También se tomaron muestras de otros tipos de usos del suelo presentes: forestal, suelo desnudo, agua, barbechos, etc., que luego se unieron en una sola clase, denominada "No Regadío". La muestra tiene una superficie total de 2,545 Ha, lo que supone aproximadamente un 1,5% de la superficie de la zona regable. También se tomó una segunda muestra, algo más reducida, repartida de forma homogénea en la zona regable, para poder realizar la validación de la clasificación. Esta muestra tiene una superficie de aproximadamente 685 Ha, lo que supone un 0,4% de la zona regable.

La clasificación multitemporal se hizo en ambas fases mediante un algoritmo de máxima verosimilitud, asignando probabilidades a priori para cada una de las clases temáticas. Dicha probabilidad se calculó a partir de la proporción, en tantos por uno, que cada una de las clases representaba respecto al total de superficie de la verdad terreno.

A la clasificación resultante se le aplicó un umbral, con un nivel de confianza de 0,95. De esta manera, una proporción de los píxeles de la imagen quedaban asignados a la categoría "no clasificado". Estos píxeles eran los que tenían menor probabilidad de haber sido clasificados correctamente.

Por último, se pasó un filtro de mayoría de 3x3 para minimizar el efecto de "sal y pimienta" típico de las clasificaciones.

A partir del cruce espacial de la clasificación con los datos de verdad terreno se obtuvo la Matriz de Contingencia, la Precisión de Identificación y la Precisión Cartográfica.

En la Fase II, los cultivos de regadío presentan precisiones de identificación y cartográficas superiores al 85%, excepto el uso "Cultivos leñosos", que presenta una precisión de Identificación (PI) del 74%, mostrando un cierto grado de confusión con el resto de los cultivos de regadío excepto con el arroz, como era de esperar. En cualquier caso, el resultado general de la clasificación es muy bueno, con una fiabilidad general del 95%.

2.2. Cálculo de las necesidades de riego

2.2.1. Cálculo de las necesidades hídricas netas

A partir de los datos meteorológicos y las características locales de los cultivos en regadío, se obtienen las necesidades hídricas netas (teóricas) de dichos cultivos.

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo) para el estudio local (Fase I) se realizó utilizando el método de Blaney-Criddle. Su ajuste a las características propias de Aragón (medidas lisimétricas) requiere reducir su valor FAO por un coeficiente constante de 0,88 [2].

Según un estudio realizado por la Diputación General de Aragón [3] el Método de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en zonas semiáridas expuestas al viento ofrece unos resultados muy similares a los obtenidos por el método FAO Penman-Monteith.

La velocidad media mensual del viento en la zona de estudio es superior a 2m/s por lo que puede clasificarse como ventosa o expuesta al viento, por lo que el método escogido para el cálculo de la ETo en la Fase II fue el de Hargreaves.

El coeficiente de cultivo (Kc) se obtiene según la información FAO [4], 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, ha sido publicado por la Diputación General de Aragón [2].

Los valores de Kc aplicados a cada grupo de cultivos clasificados han sido obtenidos como media ponderada en superficie de los valores de Kc de los principales cultivos de cada Comarca. De la misma manera se han obtenido las fechas medias de siembra y recolección de los grupos clasificados.

La precipitación efectiva (PE) se ha calculado según el método del Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América [5].

2.2.2. Necesidades de riego brutas

Para obtener los volúmenes de agua realmente utilizados en el regadío es necesario aplicar a los valores teóricos obtenidos un factor de corrección para tener en cuenta otros factores externos del regadío como por ejemplo la eficiencia de regadío.

En el estudio local (Fase I) la eficiencia adoptada fue de un 75%, correspondiendo tanto con el valor medio obtenido como con el valor recomendado por la Diputación General de Aragón para los regadíos de la Región [2]. Este valor fue estimado a partir de los datos de características de los suelos (mapas morfopedológicos y valores de campo de medidas de eficiencia de riego) disponibles y sobre la reutilización de los excedentes, aspecto importante de estos regadíos que hace aumentar la eficiencia del riego.

En el estudio regional no se ha contado con un trabajo tan específico sobre la eficiencia del riego. Consultando estudios para planificación de regadíos y siguiendo los criterios de expertos en planificación de regadíos, se ha calculado mediante media ponderada en superficie un valor de eficiencia general para los regadíos de la Unidad de Gestión Gállego-Cinca del 55%. La aplicación de este factor de corrección al mapa de necesidades hídricas netas resulta en el mapa de necesidades hídricas brutas o de volúmenes reales de riego. Durante la preparación de este mapa se ha realizado también la agrupación de los valores por píxel con los que se había trabajado hasta este momento en unidades de simulación, que en la Fase I son los diferentes Sectores de Riego que componen la Unidad de Riego del Flumen y en la Fase II son las Comarcas Agrarias.

2.2.3. Validación del modelo

Para la validación del modelo se solicitaron los volúmenes de agua facturados que elabora la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) para el año 2000.

Las necesidades de riego brutas estimadas en la Fase I fueron de 141,77 hm³. Este total se ajusta en un 99,9% al volumen total facturado por la CHE, con un coeficiente de correlación lineal, atendiendo a su distribución mes a mes, de 0,94.

Para la Fase II se comparó el volumen de necesidades de riego brutas calculadas para el año 2000 (1.054 hm³) con el valor de la demanda de Riegos del Alto Aragón (948 hm³), resultando este

último aproximadamente un 10% superior. Esta diferencia puede en parte deberse a una infraestimación de la eficiencia del regadío en esta zona.

3. Resultados

3.1. Resumen de resultados de la Fase I

La clasificación de cultivos realizada tiene una fiabilidad global de 0,77 resultando un valor adecuado para los requerimientos del presente servicio.

La necesidades de riego brutas en el regadío de Flumen tienen un valor medio de unos 8.000 m³/ha. La cantidad de agua reutilizada es un 35% de las necesidades de riego brutas. La eficiencia de riego es de un 76%, valor que se ajusta al propuesto para el cálculo de necesidades de riego brutas en Aragón.

Los valores obtenidos con el modelo se ajustan en un 99,9% al volumen total facturado por la Confederación Hidrográfica del Ebro, con un coeficiente de correlación lineal de 0,94.

3.2. Resumen de resultados de la Fase II

La clasificación de cultivos realizada tiene una fiabilidad global del 0,95, resultando un valor adecuado para los requerimientos del presente servicio.

La necesidades de riego brutas en el regadío de la UGE tienen un valor medio de 6.343 m³/ha. La eficiencia de riego estimada fue de un 55%. El volumen de necesidades de riego brutas calculadas para el año 2000 resulta un 10% superior al valor de la demanda de Riegos del Alto Aragón.

4. Conclusiones

Los principales beneficios y limitaciones del servicio AquaSAGE son los siguientes:

- La presentación de resultados en formato SIG, como exige la Directiva Marco del Agua, permite conocer la distribución espacial de los cultivos y de las demandas de agua de los mismos.
- El mapa de necesidades de agua de riego permite al usuario conocer la distribución del consumo de agua según unidades espaciales (unidades de simulación) no directamente relacionadas con la red de distribución.
- Los resultados obtenidos permiten al usuario localizar las zonas con bajas eficiencias de riego. Esto puede conocerse mediante la

comparación de las necesidades hídricas netas con los volúmenes de agua realmente consumidos.

- La clasificación de cultivos realizada a partir de datos de referencia, sin “verdad campo”, presenta limitaciones en la zona debido a la gran diversidad de cultivos de regadío existentes y a la pequeña superficie de las parcelas. Sin duda la realización de un muestreo de campo y el incremento del número de imágenes de satélite mejoraría la discriminación de cultivos pero también encarecería el trabajo.
- La complejidad del sistema y la falta de datos locales de eficiencia de riego obliga a la utilización de valores medios de eficiencia limitando la precisión del resultado.

5. Referencias

- [1] Casterad, M.A., Herrero, J. 1998. Irrivol: A method to estimate the yearly and monthly water applied in an irrigation district. *Water Resources Research*, vol.34, no.11, pages 3045-3049, november 1998.
- [2] Martínez-Cob, A., Faci J.M. y Bercero A. 1998. Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón. Instituto Fernando el Católico. Zaragoza, España. 223 pp.
- [3] Martínez-Cob, A., Tejero-Juste, M. “A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ETo estimation equation in semiarid regions”. *Agricultural Water Management* 64 (2004) 251-264
- [4] Doorenbos J. y Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 24. Roma, Italia. 144pp.
- [5] Danaste, N.G. 1974. Effective rainfall in irrigated agriculture, *FAO Irrigation and Drainage Paper* 25. Roma, Italia. 62 pp.