



Estimación de la superficie de los cultivos y la evapotranspiración de los regadíos de la Cuenca del Guadalquivir por Teledetección.

Blanca Sánchez Hernández ⁽¹⁾, María Pat González Dugo ⁽²⁾, Luciano Mateos Iñiguez ⁽³⁾
Victor J. Cifuentes Sánchez ⁽⁴⁾, Rosario Escudero Barbero ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Tecnologías y Servicios Agrarios, S.A., S.M.E., M.P.(Tragsatec), C/ Julián Camarillo 6B, Madrid, CP: 28037
(bsh@tragsa.es, reb@tragsa.es)

⁽²⁾ Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, IFAPA, Centro Alameda del Obispo. Avda. Menéndez Pidal s/n, Córdoba, CP: 14004

⁽³⁾ Instituto de Agricultura Sostenible, IAS-CSIC, Alameda del Obispo s/n, Córdoba, 14004

⁽⁴⁾ Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Plaza de España, Sector II y Sector III; Sevilla, CP: 41071

Resumen: La aplicación de la Directiva Marco del Agua exige a los organismos de cuenca una gestión hídrica eficiente y una política de racionalización del uso del agua, en especial en las zonas en las que, como la cuenca del Guadalquivir, es un bien escaso y se produce una gran competencia entre sus distintos usos. Esta necesidad ha impulsado en los últimos años el desarrollo de tecnologías como la teledetección, que permiten su aplicación sobre zonas extensas y una actualización periódica a un precio asequible, gracias al empleo de imágenes de libre disposición.

En el presente artículo se describe el trabajo realizado para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en regadío en la cuenca hidrográfica del Guadalquivir, con una extensión de 57.527 km² y una superficie regada de más de 800.000 ha, donde el consumo de agua para usos agrícolas es mayor que el 85 % del total.

Este trabajo lo ha llevado a cabo Tragsatec por encargo de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, en colaboración con IFAPA y CSIC, quienes en años anteriores desarrollaron y pusieron a punto un método de cálculo de la evapotranspiración (ET) que combina datos de teledetección con modelos agronómicos y datos agrometeorológicos (precipitación y evapotranspiración de referencia). El modelo aplicado calcula coeficientes de cultivo (Kc) a partir de índices de vegetación obtenidos a partir de series temporales de imágenes de satélite. Este modelo ya ha sido aplicado en la cuenca del Guadalquivir en campañas anteriores (entre 2007 y 2010). Se presenta su implementación y resultados para la campaña 2015.

Palabras clave: gestión hídrica, teledetección, cultivos en regadío, cálculo ET, necesidades hídricas, cuenca del Guadalquivir.

Estimation of the area and evapotranspiration of irrigated crops in the Guadalquivir basin using remote sensing techniques.

Abstract: The Water Framework Directive calls water authorities to enforce efficient and rational water management. This is of paramount importance in areas such as the Guadalquivir basin where the water is a scarce resource and there is also an intense competence among the different users. In the last years, this issue has encouraged the development of new technologies, such as remote sensing, that allow analysing large areas with periodic updating at low cost, thanks to the availability of free satellite images.

The aim of this paper is to describe the methodology to calculate the water requirements of the irrigated crops in the Guadalquivir basin, which has an extension of 57.527 km² and an irrigated surface of 800.000 ha. In this area, 85% of the water is used for agriculture.

This work has been carried out by Tragsatec at the request of the Guadalquivir River Basin Agency (Confederación Hidrográfica del Guadalquivir) in collaboration with IFAPA and CSIC, whom in the last years developed a methodology to calculate evapotranspiration (ET) by combining remote sensing data with agronomic models and weather data collected at meteorological stations. The methodology computes crop coefficients (Kc) from vegetation indices time series obtained from satellite images. This model has been already applied in the Guadalquivir basin between 2007 and 2010. This study presents the implementation and results during the season 2015.

Keywords: water management, remote sensing, irrigated crops, evapotranspiration, irrigation requirements, Guadalquivir basin

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la disponibilidad de series temporales de imágenes de satélite de libre acceso y alta resolución espacial está fomentando el empleo de la teledetección por parte de las Administraciones Públicas.

El presente trabajo describe la aplicación de esta tecnología en el ámbito espacial de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir para la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos en regadío.

Las series temporales de imágenes permiten realizar un seguimiento de la evolución de la demanda de agua en

las distintas zonas de regadío a lo largo de la campaña agrícola, lo que sin duda ayudará en la gestión y planificación de los recursos hídricos.

Este trabajo se ha desarrollado en dos etapas:

- 1) La generación de una capa de superficies de cultivo obtenida mediante técnicas de clasificación de la serie temporal de imágenes.
- 2) La cuantificación y evolución de las necesidades hídricas por cultivos y zonas de regadío cada 10 días a lo largo de la campaña agrícola.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Imágenes empleadas

Se ha utilizado la serie de imágenes Landsat8 y 7 de las escenas 202-34, 201-34 y 200-34 que cubren en su práctica totalidad la superficie en regadío de la cuenca.

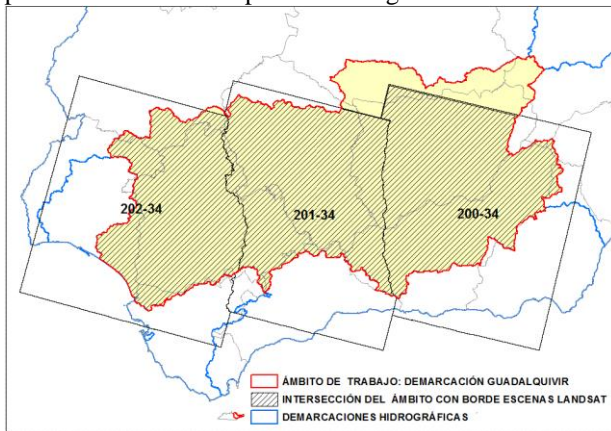


Figura 1: Ámbitos de trabajo y escenas Landsat 8

Las imágenes se han seleccionado con el criterio de cubrir uniformemente la campaña agrícola de 2015 entre principios de Marzo y finales de Septiembre, disponer de al menos una imagen al mes y que estén, en lo posible, libres de nubes. Preferentemente se han utilizado datos Landsat 8 pero en los casos en los que la cobertura nubosa no lo permitía, se ha recurrido a imágenes Landsat 7. Con esta frecuencia de datos se recoge el periodo de desarrollo completo de los cultivos anuales mayoritarios en la zona (algodón, cereal, arroz...).

Las fechas de las imágenes procesadas se relacionan en la tabla 1.

Tabla 1. Relación de imágenes (escenas/sensor). Campaña 2015

Mes	202/34		201/34		200/34	
	Día	Sen.	Día	Sen.	Día	Sen.
03	08	L8	09	L7	10	L8
04	01	L7	02	L8	19	L7
05	11 y 27	L8	20	L8	13	L8
06	28	L8	05	L8	30	L8
07	30	L8	07 y 23	L8	16	L8
08	15	L8	16	L7	01	L8
09	24	L7	25	L8	02 y 18	L8
10	02	L8				

Se han utilizado los productos *Higher Level Science Data* de Landsat, en concreto las imágenes con nivel 1 de procesado para las composición RGB de visualización, imágenes BOA (reflectividades Bottom of Atmosphere) para el preparación de datos y máscaras de nubes e índices SAVI BOA para las clasificaciones.

Una descripción detallada de las características de estos productos puede consultarse en: https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/si_product_guide.pdf

El índice SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index. Huete, A.R. 1988) se calcula mediante la siguiente ecuación

$$SAVI = \frac{IRP - R}{IRP + R + L} * (1 + L) \quad (1)$$

Siendo IRP la reflectividad correspondiente a la banda del infrarrojo cercano, R la reflectividad correspondiente a la banda del rojo y L el factor de ajuste del suelo, al que se le atribuye el valor 0,5 para situaciones distintas de suelo y vegetación, aunque por definición puede variar entre 0 y 1 en función de la cobertura.

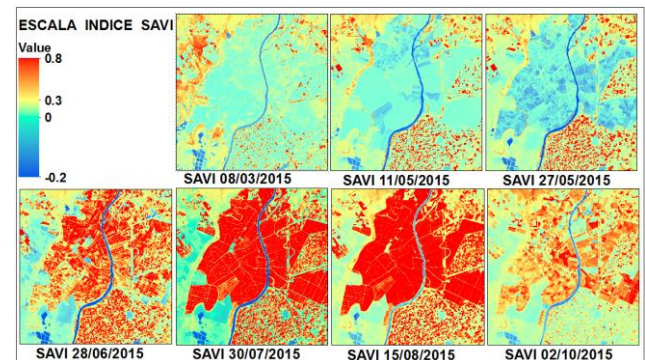


Figura 2: Detalle de serie de imágenes SAVI de la zona de los arrozales del Bajo Guadalquivir

Las imágenes del SAVI (Figura 2) proporcionan la información necesaria para la discriminación de los principales cultivos herbáceos de la cuenca, atendiendo a su ciclo fenológico.

Sin embargo, la resolución espacial de Landsat (30 metros) resulta claramente insuficiente para la discriminación de los cultivos permanentes (cítricos, frutales, olivar y viñedo). Por ello se ha empleado como referencia la información de SIGPAC.

2.2 Generación de la capa de cultivos en regadío

Debido a la amplitud y heterogeneidad climática de la cuenca, el proceso de clasificación se ha abordado de forma estratificada, dividiendo el territorio en 5 zonas agroclimáticas de comportamiento similar en cuanto al ciclo de crecimiento de los cultivos (González-Dugo et al., 2013).

La clasificación de los cultivos herbáceos se ha realizado a partir del compuesto multitemporal de SAVI, usando las declaraciones de cultivo de la PAC, en la fase de entrenamiento y asignación.

Los pasos del proceso de clasificación son los siguientes:

1) Definición de cultivos objetivo. Se ha utilizado la encuesta ESYRCE sobre superficies y rendimientos de cultivos de España para la selección de los cultivos herbáceos en regadío mayoritarios en Andalucía.

2) Caracterización de la evolución temporal del SAVI de los cultivos objetivo. Se han generado las curvas de evolución temporal del SAVI para cada cultivo, empleando para ello muestras de campo y las declaraciones de la PAC.

3) Clasificación y proceso de asignación. Se ha realizado mediante árboles de decisión que tienen en cuenta la evolución temporal de los índices de vegetación y la información de los cultivos de las declaraciones de la PAC. Se parte de clasificaciones no supervisada (ISODATA) del compuesto multitemporal de los índices de vegetación SAVI, cada clase engloba los píxeles con una similar evolución temporal del índice de vegetación. A continuación, estas clases se comparan con las firmas temporales de referencia de los cultivos objetivo, utilizando el criterio de mínima distancia. El método de cálculo se basa en la ecuación de distancia Euclídea (Swain and Davis, 1978). El resultado es un fichero de distancias espectrales que asigna la probabilidad de correspondencia de cada clase radiométrica a un cultivo objetivo. Esta información se utiliza, junto con la declaración de todos los cultivos de la PAC por parcela, para construir árboles de decisión de asignación de cultivo: los píxeles se asignan si tienen alta probabilidad de pertenencia a una clase y coinciden con el cultivo declarado en la PAC. Los píxeles que no cumplen estas condiciones se asignan en una segunda vuelta de clasificación considerando solo su evolución temporal de los índices SAVI.

4) Validación de la clasificación. Se ha empleado una muestra de campo independiente de 3.343 ha, obteniéndose una precisión global del 88.43 %.

El resultado final, incorporando los cultivos permanentes, se muestra en la figura 3.

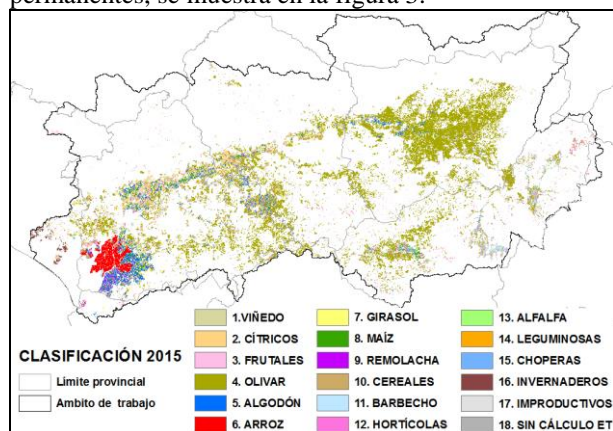


Figura 3: Capa de cultivos en regadío 2015

2.3 Cálculo de evapotranspiración (ET)

La evapotranspiración real de los cultivos (ET, mm) se obtiene siguiendo el procedimiento propuesto por FAO56 (Allen et al., 1998a) según el cual:

$$ET = Kc \times ETo \quad (2)$$

Siendo Kc un coeficiente de cultivo que varía para cada cultivo a lo largo del ciclo de crecimiento y ETo, la evapotranspiración de referencia. El dato de ETo se ha obtenido de la red RIA/SIAR.

Los valores del coeficiente de cultivo (Kc) se calculan, según FAO (Doorenbos y Pruitt, 1977; Allen et al., 1998), a partir de la siguiente expresión dual:

$$Kc = Kcb \times Ks + Ke \quad (3)$$

Donde Kcb es el coeficiente de cultivo basal (obtenido en función del SAVI según González-Dugo y Mateos, 2008), Ks un coeficiente de estrés y Ke el componente evaporativo del suelo. Tanto Ks como Ke son de difícil estimación a nivel de cuenca. Por tanto, el método se simplifica asumiendo que los cultivos no sufren estrés hídrico (Ks=1), lo que proporciona el techo de necesidades hídricas, mientras que con respecto a Ke, IFAPA e IAS-CSIC, desarrollaron un método de cálculo que infiere el término Kc del término Kcb y del coeficiente de cultivo para suelo desnudo obtenido mediante simulaciones del balance de agua para cada zona agroecológica (Mateos et al., 2013). Este método ya se aplicó para obtener resultados en las campañas de 2007 a 2010 (González-Dugo et al., 2013).

A partir de estos ficheros se interpola para obtener el valor de Kc diario en cada punto. El producto del Kc y la ETo de la estación meteorológica más cercana, ambos a escala diaria, proporcionan el valor final de ET del cultivo asumiendo que no sufre estrés hídrico.

Esta metodología para el cálculo de ET está implementada en una aplicación informática, desarrollada sobre ENVI que permite obtener de forma operativa las capas de ET decenales y acumuladas.

3. RESULTADOS

1) Capa de cultivos en regadío.

A partir de la cual se pueden inferir las superficies que se recogen en la tabla 2.

Tabla 2. Superficies de cultivos en ha

USOS	SUP(ha)	CLASE	SUP (ha)		
LEÑOSOS	604.673	Olivar	503.629		
		Frutales	50.520		
		Cítricos	42.427		
		Choperas	5.985		
		Viñedo	2.112		
HEBÁCEOS	290.038	Cereales	111.819		
		Algodón	47.256		
		Girasol	37.813		
		Arroz	37.144		
		Maíz	26.503		
		Alfalfa	15.872		
		Leguminosas	7.608		
		Remolacha	6.023		
		OTROS REGADÍOS	32.525	Hortícolas	25.605
				Invernaderos	6.920
OTROS USOS		Improductivo	53.254		
		Barbecho	43.569		
		Sin calculo ET	27.443		

2) Capas de ET decenal y acumulada por campaña.

Son los mosaicos de ET en mm calculada con la metodología descrita, agrupada por decenas y por campaña. En la figura 4 se muestra el mosaico de ET total acumulado por campaña.

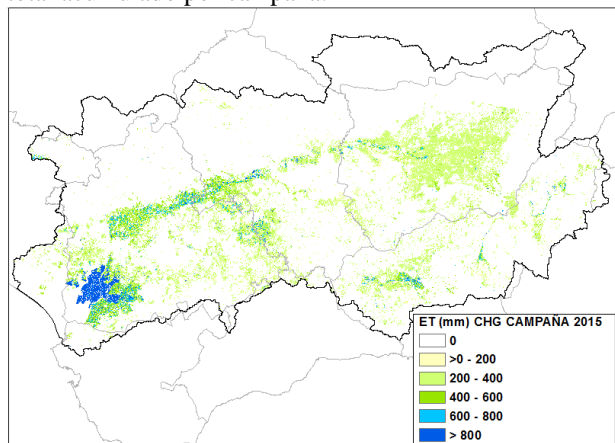


Figura 4: ET acumulada de 2015

3) Variación decenal de ET por cultivo

Quizá sea este uno de los resultados más interesantes para la gestión hídrica por su variabilidad espacio temporal dentro de cada campaña agrícola. La gráfica de la evolución de ET se recoge en la figura 5.

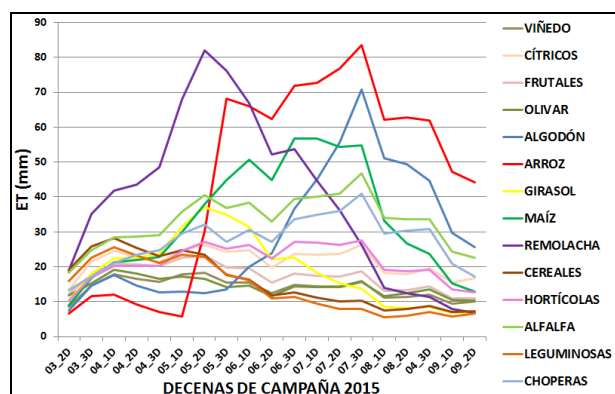


Figura 5: Variación decenal de ET 2015

4) Resultados por unidades de agregación.

Son las siguientes capas SIG (no presentadas en esta comunicación):

- Cobertura de superficies de cultivo.
- Cobertura agrometeorológica, con la media en mm de las variables Evapotranspiración (ET), Precipitación media (P) y Riego (R).

4. DISCUSIÓN

Se trata de una metodología robusta (Mateos L. et al., 2013), con resultados contrastados durante varios años de aplicación, datos escalables espacialmente, de

aplicación operativa durante el año en curso y de bajo coste por el acceso abierto a las imágenes.

Es de destacar el interés de los resultados obtenidos para el organismo de cuenca. Permite obtener unos datos sobre las superficies regadas, las necesidades hídricas y la distribución temporal de las demandas de agua de gran utilidad para la toma de decisiones en las labores de gestión y tareas de planificación hídrica.

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, Rome, Italy.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O. 1977. Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24. (rev.) FAO, Rome, Italy. 144 p.
- González-Dugo, M.P., Escuin, S., Mateos, L., Cano, F., Cifuentes, V., Padilla, F.L.M, Tirado, J.L, Oyonarte, N., Fernández, P. 2013. Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. II. Application on basin scale, Agricultural Water Management. 125, 92-104.
- González-Dugo, M.P., Mateos, L. 2008. Spectral vegetation indices for benchmarking water productivity of irrigated cotton and sugarbeet crops. Agricultural Water Management, 95, 48-58.
- Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment. Vol 25. Issue 3. 295-309.
- Mateos, L., González-Dugo, M.P., Testi, L., Villalobos, F. J. 2013. Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. I. Method validation. Agricultural Water Management, 125, 81-91.
- Swain, P. and Davis, S. 1978. Remote sensing: the quantitative approach. McGraw-Hill International Book Co.