

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

Blanca Sánchez Hernández<sup>(1)</sup>, María Pat González Dugo<sup>(2)</sup>, Luciano Mateos Iñiguez<sup>(3)</sup>, Víctor J. Cifuentes Sánchez<sup>(4)</sup>, Rosario Escudero Barbero<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> 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),

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

<sup>(3)</sup> Instituto de Agricultura Sostenible, IAS-CSIC, Alameda del Obispo s/n, Córdoba, 14004, <sup>(4)</sup> Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, Plaza de España, Sector II y Sector III; Sevilla, CP: 41071

## Introducción

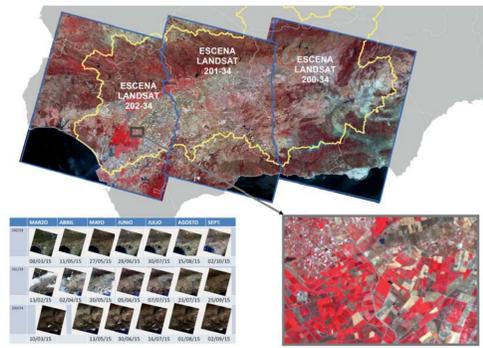
La aplicación de la Directiva Marco del Agua exige a los organismos de cuenca una gestión hídrica eficiente y una política de racionalización del uso del agua, en especial en las zonas en las que, como la cuenca del Guadalquivir, es un bien escaso y se produce una gran competencia entre sus distintos 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 km<sup>2</sup> 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.

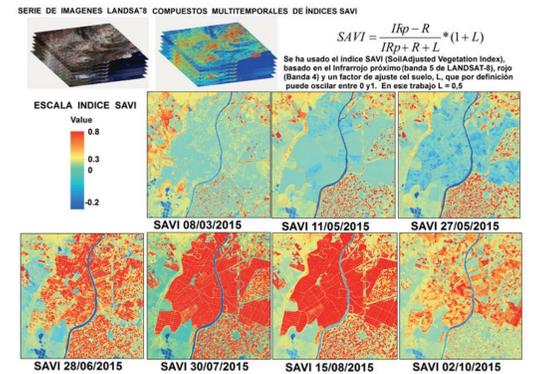
Este trabajo lo ha llevado a cabo Tragsatec por encargo de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, en colaboración con IFAPA y CSIC, quienes en años anteriores desarrollaron y pusieron a punto un método de cálculo de la evapotranspiración (ET) que combina datos de teledetección con modelos agronómicos 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.

## Preparación de datos

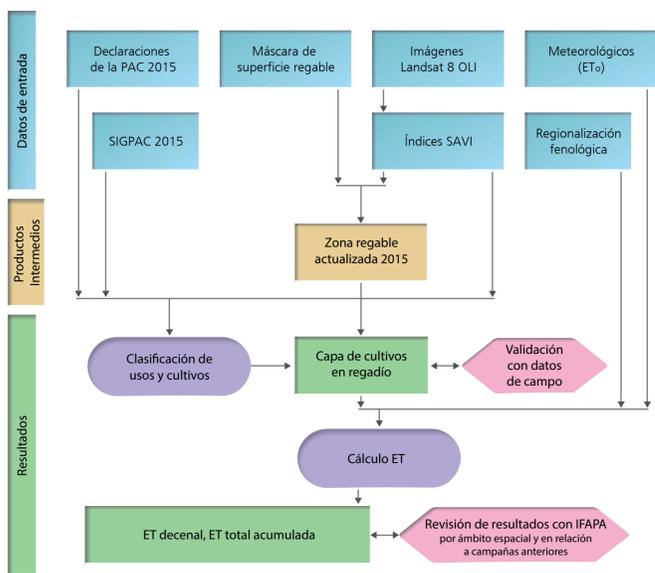
### Imágenes LANDSAT



### Índices SAVI



## Esquema de trabajo



## Clasificación

Los pasos del proceso de clasificación son los siguientes:

- 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.
- 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.
- 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 supervisadas (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 en los índices SAVI.
- Validación de la clasificación. Se ha empleado una muestra de campo independiente de 3.343 ha, obteniéndose una precisión global del 88.4%.

## Metodología

## Cálculo de evapotranspiración

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

$$ET = Kc \times ETo$$

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:

$$Kc = Kcb \times Ks + Ke$$

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.

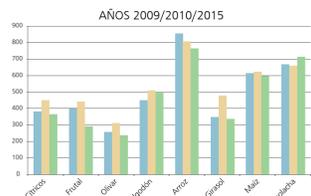
Esta metodología para el cálculo de ET está implementada en una aplicación informática, desarrollada sobre ENVI que permite obtener de forma operativa las capas de ET decenales y acumuladas.

## Análisis de resultados. Conclusiones

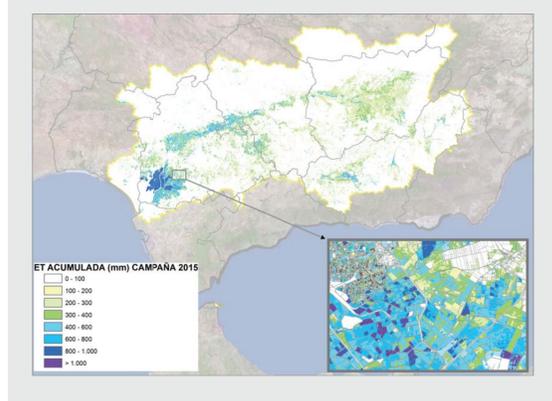
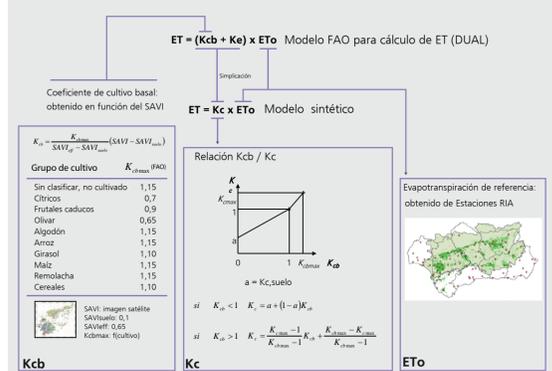
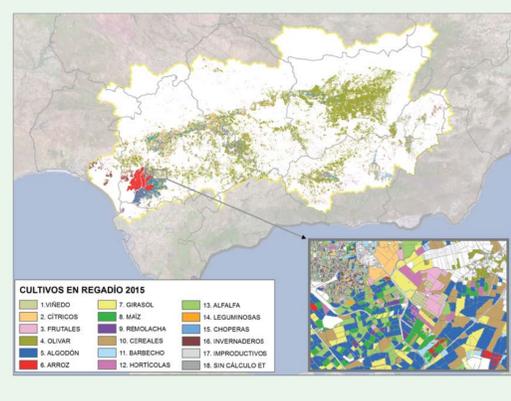
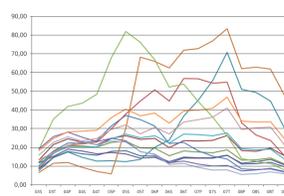
El trabajo realizado permite extraer datos sobre las superficies regadas, las necesidades hídricas y la distribución temporal de las demandas de agua por unidad de superficie, información de gran utilidad para la toma de decisiones en las labores de gestión y tareas de planificación hídrica. Se trata 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 de partida.

AGRUPACIÓN DE USOS	SUPERFICIE (ha)	CLASE	SUPERFICIE (ha)
LEÑOSOS	604.673	OLIVAR	503.629
		FRUTALES	50.520
		CITRICOS	42.426
		CHOPERAS	5.985
		VINEDO	2.112
HERBÁCEOS	290.037	CEREALES	111.819
		ALGODÓN	47.255
		GIRASOL	37.812
		ARROZ	37.144
		MAIZ	26.502
		ALFALFA	15.872
		LEGUMINOSAS	7.607
		REMOLACHA	6.022
		HORTICOLAS	25.604
		INVERNADEROS	6.920
OTROS REGADÍOS	32.524	IMPRODUCTIVOS	53.254
OTROS USOS		BARBECHO	43.569
		SIN CALCULO ET	27.443

COMPARACIÓN DE ET ACUMULADA (mm) POR CULTIVO AÑOS 2009/2010/2015



EVOLUCIÓN DE LA ET DECENAL (mm) POR CULTIVO



## 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.