

## Evapotranspiration estimates from vegetation indices

J.A. Martínez<sup>(1)</sup>, S. Garcia<sup>(1)</sup>, A. Baille<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidad Politécnica de Cartagena. Unidad Predepartamental de Ingeniería Civil, Grupo de I+D Gestión de Recursos Hídricos. Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena. España. joseangel.martinez@upct.es

<sup>(2)</sup> Universidad Politécnica de Cartagena. Departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola. Paseo Alfonso XIII, 52, 30203 Cartagena. España

### Resumen

En este trabajo se presenta una metodología de estimación de la evapotranspiración real ( $ET_a$ ) de la superficie terrestre a escala mensual a partir de imágenes de satélite de observación de la Tierra (MODIS Terra). Se basa esencialmente en el uso de un índice de vegetación (EVI, Enhanced Vegetation Index) y de datos de temperatura del aire. El método se ha validado con medidas de  $ET_a$  obtenidas por el método de covarianza de remolinos en dos parcelas de naranjos del Campo de Cartagena (Murcia). Esta metodología presenta la ventaja de ser poco exigente en datos de entrada, lo que la convierte en una herramienta idónea para aproximaciones de  $ET_a$  a escala de cuenca.

**Palabras clave:** Teledetección; reflectancia; balance hídrico

### Abstract

This work presents a method for estimating the actual transpiration ( $ET_a$ ) of land surfaces from data provided by Earth Observation satellites (MODIS Terra). The method uses a vegetation index (EVI, Enhanced Vegetation Index) and air temperature data. It was validated with ground measurements of  $ET_a$  performed by the eddy-covariance technique in two citrus orchards of Campo de Cartagena (Murcia). The proposed method presents the advantage of being little demanding in input data, therefore representing a suitable tool to get estimates of  $ET_a$  at the basin scale.

**Keywords:** Remote sensing; Reflectance; Water balance

## 1. Introducción

Un método ampliamente utilizado para el cálculo de la evapotranspiración de cultivos en condiciones óptimas ( $ET_c$ ), es el propuesto por Allen *et al.* [2]. Se basa en el cálculo de la evapotranspiración de referencia ( $ET_{ref}$ ) y del conocimiento del coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), específico a cada especie. La evolución de  $K_c$  a lo largo del ciclo de cultivo se basa en valores estándares definidas en función del estadio fenológico del cultivo (Allen *et al.* [2]).  $ET_c$ , se obtiene multiplicando  $ET_{ref}$  por  $K_c$ , y representa la evapotranspiración máxima de un cultivo en una zona climática determinada.

En condiciones reales, las plantas pueden estar sujetas a diferentes tipos de estrés bióticos (e.g. plagas) o abióticos (estrés hídrico, térmico o nutricional), y su evapotranspiración real ( $ET_a$ ) es entonces inferior a  $ET_c$ . Allen *et al.* [2] proponen de introducir funciones de estrés para estimar  $ET_a$ .

En la última década, con la posibilidad de utilizar la información derivada de los satélites de observación de la Tierra, se han desarrollado métodos basados en índices de vegetación ( $VI$ ).

Estos índices, derivados de medidas de reflectancia en diferentes longitudes de onda del espectro solar, caracterizan la densidad de vegetación y su estado de vigor, y pueden ser utilizados como sustitutos de  $K_c$ , para los cultivos como para la vegetación natural. El método es entonces similar al método de coeficiente de cultivo, sustituyendo  $K_c$  por una función del índice de vegetación elegido,  $f(VI)$ :

$$ET_{a,VI} = ET_{ref} f(VI) \quad (1)$$

La función  $f(VI)$  se determina generalmente por ajuste de la función a medidas disponibles de  $ET_a$  en tierra.

Para la estimación de  $ET_{ref}$  se puede recurrir a una amplia gama de fórmulas, que difieren por su exigencia en datos meteorológicos. El método FAO-56 Penman-Monteith ( $PM$ ) fue establecido como estándar para el cálculo de  $ET_{ref}$  [1], debido a su relativa exactitud y coherencia tanto en climas áridos como en climas húmedos. No obstante es un método que requiere un gran número de variables meteorológicas, no siempre disponibles. Además, para su determinación a partir de datos históricos, presenta como

inconveniente la falta de registros fiables, debido a los cambios en los dispositivos de medición y localización de estaciones [4]. En este contexto para determinar  $ET_{ref}$  en una serie histórica, es necesario recurrir a métodos poco exigentes en datos. Un método alternativo es la ecuación de Hargreaves ( $HG$ ) [8], que sólo requiere datos de temperatura del aire, proporcionando estimaciones de  $ET_{ref}$  razonables con una validez global [1].

El principal objetivo de este trabajo es estimar  $ET_a$  a escala mensual para una serie temporal histórica correspondiendo a imágenes del satélite MODIS Terra comprendido entre el 2000 y 2013, a escala de cuenca hidrográfica (Cuenca del Segura, Sureste de España).

En una primera etapa, se ha estimado  $ET_{ref}$  mediante  $HG$  a partir de datos de temperatura. En una segunda etapa se ha estimado  $ET_a$  mediante la Ecuación 1, empleando el índice  $EVI$  (Enhanced Vegetation Index) de MODIS, ajustando los parámetros de la función  $f(VI)$  de acuerdo a medidas de  $ET_a$  en dos parcelas de naranjos ubicadas en el perímetro de riego del Campo de Cartagena (Región de Murcia)

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1 Materiales

Los datos de satélite empleados corresponden a los productos procedentes del sensor MODIS de la plataforma Terra, para el período 2000-2013. En concreto, se utilizó el producto MOD13Q1 que proporciona información espacial y temporal del estado de la vegetación mediante los índices de vegetación  $NDVI$  (Normalized Difference Vegetation Index) y  $EVI$  (Enhanced Vegetation Index). Estos se proporcionan cada 16 días con una resolución espacial de 250 metros.

Además, se han utilizado datos de temperatura del aire obtenidos a partir del conjunto de datos meteorológicos SPAIN02 [7] para el período 2000-2007 con una resolución espacial de 20 km x 20 km interpolados a 250 m y completados temporalmente (período 2008-2013), con datos de estaciones meteorológicas automáticas de redes agrometeorológicas y redes de estaciones ordinarias (por ejemplo, sistema SAIH, y conjuntos de datos meteorológicos), interpolados a una resolución espacial de 250 x 250 m.

Para la validación de la metodología, se han utilizado medidas de  $ET_a$  del periodo comprendido entre Junio 2009 y diciembre 2011 llevadas a cabo

en dos fincas comerciales de naranjos, situadas en el Campo de Cartagena: Villa Antonia (Parcela A) y Casa Mulero (Parcela B). Se trata de parcelas de naranjos, regados por goteo. En la parcela A, son árboles de 30 años de edad, con marco de plantación de 6 m x 4 m, e índice de área foliar ( $IAF$ ) del orden de 5. En la Parcela B, los árboles son de 6 años de edad, regados por goteo con marco de plantación de 4,5 m x 3 m, e  $IAF$  del orden de 3. Ambas parcelas están equipadas con torres de flujos que miden directamente y en continuo  $ET_a$  con la técnica de covarianza de remolinos (eddy-covariance).

### 2.2 Metodología

-  $EVI$

Con respecto a  $NDVI$ , el índice  $EVI$  tiene las ventajas de minimizar la influencia del suelo y mantener una cierta sensibilidad en condiciones de vegetación densa.  $EVI$  se expresa como:

$$EVI = \frac{G \cdot (\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + C1 \cdot \rho_{RED} - C2 \cdot \rho_{BLUE} + L)} \quad (2)$$

donde  $\rho_{NIR}$  es la reflectancia en el infrarrojo cercano;  $\rho_{RED}$ : reflectancia en el rojo;  $\rho_{BLUE}$ : reflectancia en el azul; los coeficientes son:  $L=1$ ,  $C1=6$ ,  $C2=7.5$ .

-  $ET_{ref}$

La ecuación de Hargreaves [9] requiere la temperatura máxima y mínima del aire, así como la radiación extraterrestre. El promedio mensual ( $\text{mm día}^{-1}$ ) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$ET_{ref} = C \cdot R_a (T_{max} - T_{min})^{0.5} (T + 17.8) \quad (3)$$

donde  $C$  es un coeficiente empírico,  $R_a$  el promedio mensual de la radiación extraterrestre diaria- ( $\text{mm/día}$ ), calculado de acuerdo a [1];  $T_{max}$  y  $T_{min}$  son los valores mensuales promedio máximo y mínimo de la temperatura del aire ( $^{\circ}\text{C}$ ); y  $T$  es la temperatura diaria promedio mensual, calculado como la media de  $T_{max}$  y  $T_{min}$ .

-  $ET_a$

Se ha elegido la función  $f(VI)$  propuesta por Nagler *et al.* [6] y Guerschman *et al.* [3]:

$$f(VI) = [a \cdot (1 - e^{(-b \cdot EVI)}) - c] \quad (4)$$

donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son coeficientes de ajuste. La función  $(1 - e^{(-b \cdot EVI)})$  es similar a la ley de Beer-Lambert que predice la absorción de la radiación solar por un dosel vegetal [5]. Por consecuencia,

EVI sustituye a *IAF*, asumiendo una relación lineal entre *EVI* y *IAF*.

### 3. Resultados y Discusión

A partir de las medidas de flujo en las parcelas de naranjo, se identificaron los parámetros de la ecuación (4), obteniendo la siguiente ecuación para estimar  $ET_a$ :

$$ET_a = ET_{ref} [0.98 \cdot (1 - e^{(-2.24 \cdot EVI)}) - 0.197] \quad (5)$$

La correlación entre los valores observados en las torres de flujo y los valores estimados muestran un resultado satisfactorio (Fig.1). Para la Parcela A, existe una alta correlación ( $R^2=0.80$ ) Sin embargo para la Parcela B, la correlación es menor ( $R^2=0.47$ ), debido a que se tratan de árboles más jóvenes y más espaciados, por lo que la influencia del suelo introduce distorsiones en la observación. La Tabla 1 presenta los parámetros estadísticos que caracterizan la precisión con la que se ha estimado  $ET_a$ : MAE (Error Medio Absoluto Medio), MAPE (Error Absoluto Porcentual Medio) y EMC (Error Medio Cuadrático).

Ejemplos de distribuciones espaciales de  $ET_{ref}$  y  $ET_a$  calculadas para la Cuenca del Segura son presentadas en la Fig. 2 para el mes de Diciembre del año 2010.

### 4. Conclusiones

En conclusión, se ha demostrado que el seguimiento de  $ET_a$  a escala mensual puede ser llevado a cabo empleando únicamente valores de reflectancias superficiales desde información satelital e información meteorológica fácilmente accesible (temperatura del aire). Se resalta como principal ventaja del método propuesto, frente a otros que consideran información desde bandas térmicas, su idoneidad para el seguimiento de  $ET_a$  para largos periodos, dada la baja variabilidad temporal de los *IV* en los que se basa. Por otro lado, el método propuesto permite solventar el problema de la falta de observación debida a la presencia de nubes y por tanto es una herramienta adecuada para aproximaciones de  $ET_a$  a escala de cuenca.

### 5. Agradecimientos

Se agradece el soporte recibido desde los proyectos: CGL2012-39895-C02-01, "Evaluación de variabilidad hidroclimática desde combinaciones multimodelo climáticas

regionales (HYDROCLIM)" financiado por MINECO y fondos FEDER; y EU DG-ENV Grant n° 07.0329 "Accounting System for the SEgura river and Transfers (ASSET)".

### 6. Referencias bibliográficas

- [1] Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrig Drain. paper No 56. FAO. Rome
- [2] Allen R.G.; Clemmens A.J., Burt C.M., 2005. Prediction accuracy for project-wide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. J. Irrig. Drain. Eng. 131. 1–24.
- [3] Guerschman J.P., Van Kijk I.J.M., Mattersdorf G., Beringer J., Hutley L.B., Leuning R., Pipunic R.C., Sherman B.S., 2009. Scaling of potential evapotranspiration with MODIS data reproduces flux observations and catchment water balance observations across Australia. J. Hydrol. 369. 107–119.
- [4] Maestre Valero J.F., Martínez Alvarez V., González Real M.M., 2013. Regionalization of the Hargreaves coefficient to estimate long-term reference evapotranspiration series in SE Spain. Spanish J. Agric. Res. 11(4):1137-1152.
- [5] Nagler P., Glenn E., Thompson T., Huete A., 2004. Leaf area index and Normalized Difference Vegetation Index as predictors of canopy characteristics and light interception by riparian species on the Lower Colorado River. Agric. For. Meteorol. 116. 103–112.
- [6] Nagler P., Scott R., Westenburg C., Cleverly J., Glenn E., Huete A. 2005. Evapotranspiration on western US rivers estimated using the Enhanced Vegetation Index from MODIS and data from eddy covariance and Bowen ratio flux towers. Remote Sens. Environ. 97. 337–351.
- [7] Herrera S., Gutiérrez J.M., Ancell R., Pons M.R., Frías, M.D., Fernández J., 2010. Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). In: Int. J. Climatol. 32.1. pp. 74-85
- [8] Hargreaves G.H., Samani Z.A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Appl. Eng. Agric. 1(2): 96-99.
- [9] Hargreaves G.H., 1994. Defining and using reference evapotranspiration. J. Irrig. Drain Eng. 120(6): 1132-1139.

Tablas y Figuras

Tabla 1. MAE, MAPE, EMC

Error	Parcela A	Parcela B
MAE (mm/d)	0.30	0.43
MAPE (%)	15.63	24.45
EMC (mm/d)	0.37	0.54

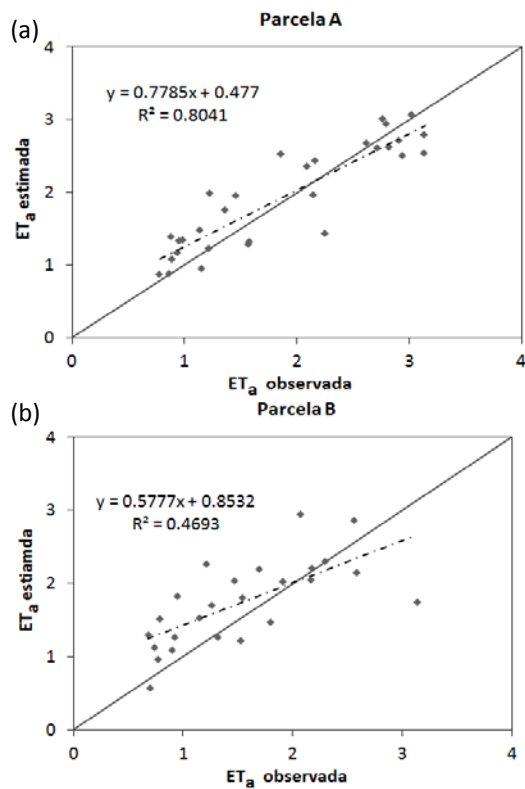


Figura 1. Relación entre valores observados y estimados de  $ET_a$  en (a) Parcela A y (b) Parcela B.

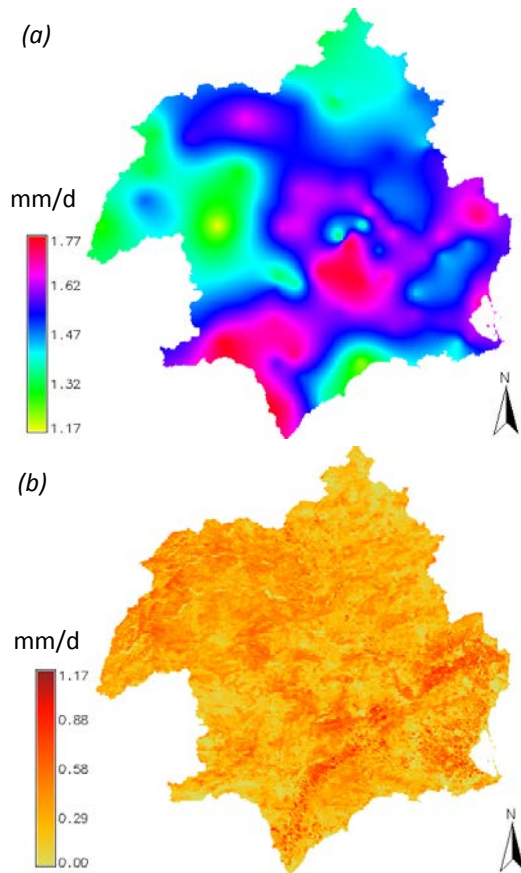


Figura 2. Mapa de (a)  $ET_{ref}$  y (b)  $ET_a$  (Fecha: 12/2010)