

Estimating evapotranspiration in the Segura River Basin from remote sensing data

Estimación de la evapotranspiración en la Cuenca del Río Segura desde imágenes de satélite

J. A. Martínez Pérez^{*1}, S. García-Galiano¹, A. Baille²

¹ Grupo de Gestión de Recursos Hídricos, Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 52. 30203 Cartagena. Spain.

² Departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola, Universidad Politécnica de Cartagena. Paseo Alfonso XIII, 48. 30203 Cartagena. Spain.

Abstract

This paper presents and validates an operational methodology, based on the use of land surface temperature (LST) and vegetation index (IV), for estimating and mapping actual evapotranspiration (ET) from satellite imagery (Landsat5 TM) in Segura river basin. The method was validated with measurements of ET realized by the eddy covariance technique in two citrus orchards of Campo de Cartagena (Spain). The good fit ($R^2 > 0.80$, RMSE of ± 50 W/m²) demonstrates the usefulness of satellite observations for estimating ET at the farm level.

Keywords: vegetation index; land surface temperature; evaporative fraction; Landsat.

Resumen

Este trabajo presenta y valida una metodología operacional, basada en el análisis del espacio temperatura de superficie (LST) vs índice de vegetación (IV), para la estimación y la cartografía de evapotranspiración real (ET) a partir de imágenes satelitales (Landsat 5 TM) en la Cuenca del Segura. El método ha sido validado con observaciones llevadas a cabo con la técnica de covarianza de remolinos en dos parcelas del Campo de Cartagena (España). El ajuste alcanzado ($R^2 > 0.80$, y RMSE ± 50 W/m²), demuestra la validez de la información satelital para la estimación de ET a nivel de parcela.

Palabras clave: índice de vegetación; temperatura superficial; fracción evaporativa; Landsat.

1. INTRODUCCIÓN

La evapotranspiración real (ET_{real}) es una importante componente del ciclo del agua y del balance de energía superficial. Por ello, cuantificar y cartografiar el flujo de calor latente es una importante información en áreas semiáridas, donde el déficit hídrico se ha convertido en el mayor obstáculo para el desarrollo de una economía sostenible [1]. Más aun, en nuestra zona de estudio (Cuenca del Río Segura), donde el sector agrícola (regadíos) representa cerca de 80% de la demanda total de la Cuenca.

* E-mail: joseangel.martinez@upct.es

Este trabajo presenta y valida una metodología operacional para la estimación y la cartografía de ETreal a partir de imágenes satelitales (Landsat 5 TM) cuya cadena de tratamiento se compone de las siguientes etapas: (i) correcciones atmosféricas y topográficas, (ii) corrección de temperatura de aire, (iii) eliminación de datos inconsistentes, (iv) programación automática de detección de bordes y (v) estimación de ETreal mediante un algoritmo gráfico propuesto por [2].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Para la validación de la herramienta, se han utilizado medidas de ETreal llevadas a cabo en dos fincas comerciales de naranjos, situadas en el Campo de Cartagena (Murcia): Casa Mulero (Parcela A) y Villa Antonia (Parcela B). Están equipadas con torres de flujo que miden ET con la técnica de covarianza de remolinos (eddy-covariance), además de otras variables de superficie.

La información satelital empleada consiste en 11 imágenes Landsat 5TM, tomadas entre 2009 y 2011, a las que se ha aplicado correcciones radiométricas[3], obteniendo LST (Land Surface Temperature), índice de vegetación NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) y demás variables requeridas. Otra información empleada es el producto MOD05 L2 de TERRA MODIS, necesario para la corrección por vapor de agua atmosférico, e imágenes de turbidez atmosférica para el cálculo de la radiación solar incidente.

La distribución espacial de la temperatura del aire (T_a), necesaria para la corrección de LST se ha generado empleando un modelo de regresión múltiple, usando las variables-elevación, longitud, latitud y distancia al mar [4]. Se ha empleado la cartografía del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE) para discriminar a escala 1:25000, áreas susceptibles de producirse evapotranspiración, excluyendo áreas sin vegetación, artificiales y de agua.

2.2 Algoritmo para el cálculo de ETreal

El algoritmo utilizado es el propuesto por [2], basado en la interpretación del espacio LST vs NDVI. El análisis de este espacio permite identificar dos rectas delimitando: (i) las condiciones de suelo seco (LSTmax), y (ii) las condiciones no limitantes de agua (LSTmin). Una vez determinadas estas rectas, se deduce por interpolación el parámetro ϕ de la fórmula de Priestley-Taylor:

$$\lambda ET = \phi \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] (R_n - G) \quad (1)$$

Siendo Δ (Pa K^{-1}) la pendiente de la curva de presión de vapor saturado, γ la constante psicométrica (Pa K^{-1}), R_n la radiación neta y G el flujo del calor del suelo. La fracción evaporativa, definida por $EF = ET/(R_n - G)$, se obtiene como:

$$EF = \phi \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] \quad (2)$$

El valor de ϕ para un pixel con una temperatura observada es obtenido por interpolación lineal entre el extremo superior ($\phi_{\max} = 1.26$) e inferior del triángulo ($\phi_{\min} = 0$). Para tener en cuenta la variabilidad espacial de la temperatura del aire, se ha aplicado la corrección propuesta por [5], utilizando la diferencia de temperatura $DT = LST - T_a$. Considerando la relación espacial entre el índice de vegetación (IV) and DT , ϕ se obtiene con la relación siguiente:

$$\phi = \phi_{\max} \frac{DT_{\max} - DT_{obs}}{DT_{\max} - DT_{\min}} \quad (3)$$

La radiación neta es derivada de la siguiente ecuación:

$$R_n = (1-a) \cdot R_s + L_d - L_{up} \quad (4)$$

Donde R_s es la radiación de onda corta incidente calculada según [6], a es el albedo, y L_d and L_{up} son la radiación de onda larga incidente y emitida respectivamente, calculadas según [7]. El flujo de calor por conducción G a la interfase superficie/atmósfera se ha calculado según [8], considerando que G es proporcional a R_n ; ($G = \alpha R_n$) y que α es una función lineal de EF ($\alpha = a + b EF$, con $a = 0.22$ y $b = -0.23$)

2.3 Algoritmo para la determinación de los bordes

Se ha utilizado el algoritmo propuesto por [1] para identificar los bordes seco e humedo, Se ha introducido una modificación de dicho algoritmo, mediante un método iterativo de cálculo del borde humedo por minimización del RMSE (Error Medio Cuadrático) entre valores observados y estimados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han testado diferentes configuraciones del espacio temperatura superficial versus índice de vegetación (triangular, rectangular, trapezoidal), siendo la forma trapezoidal la que presenta el ajuste más satisfactorio. La correlación entre medidas y estimaciones es alta, en torno a $R^2 = 0.80$ (ver Tabla 1). El RMSE obtenido en la parcela B es de 50 W/m^2 frente a 36 W/m^2 de la parcela A. Esta tendencia es confirmada con los valores alcanzados por el MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio), un 17 % de la parcela A frente a los 28 % de la parcela B. A modo de ejemplo, la Fig. 1 presenta una distribución espacial de ET obtenida desde Landsat en la zona regable del Campo de Cartagena para la fecha 28/11/2011 y la correspondiente distribución de frecuencias. Presenta un valor medio de 201.6 W/m^2 , con un coeficiente de variación de 26.6%.

4. CONCLUSIONES

Con la herramienta presentada en este trabajo, se ha demostrado que es posible estimar ET con una buena precisión en base exclusivamente a la información proporcionada por imágenes satelitales como Landsat. Los buenos resultados obtenidos están determinados por los siguientes factores:

- Inclusión de mapas de usos del suelo para eliminar pixeles que pudieran introducir falsos mínimos o máximos en la definición de bordes, ya que el método es muy sensible a la definición de los bordes.
- Empleo de un algoritmo que permita definir correctamente los bordes.
- Consideración de la variación espacial de T_a , de no emplearla podría llegar a contribuir a errores del orden 20-30 %.

5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación recibida de los siguientes proyectos de I+D: EC-DG ENV ref. 241559. REDSIM, EU FP7-245159 SIRRIMED, y CGL2012-39895-C02-01 HYDROCLIM.

6. REFERENCIAS

- [1] Tang, R., Li, Z. L., Tang, B. (2010). An application of the Ts-VI triangle method with enhanced edges determination for evapotranspiration estimation from MODIS data in arid and semi-arid regions: Implementation and validation. *Remote Sens. Environ.* 114 (3), 540-551.
- [2] Jiang, L., Islam, S. (2001). Estimation of surface evaporation map over southern GreatPlains using remote sensing data. *Water Resour. Res.* 37(2), 329-340.
- [3] Chuvieco, E., Hantson, S. (2010). Procesamiento estándar de imágenes Landsat. Documento técnico de algoritmos a aplicar, Version1. Plan Nacional de Teledetección. Instituto Geográfico Nacional, Madrid.
- [4] Cristóbal, J., Ninyerola, M., Pons, X. (2008). Modeling air temperature through a combination of remote sensing and GIS data. *J. Geophys. Res.* 113, D13106.
- [5] Kalma, J. D., McVicar, T. R., McCabe, M. F. (2008). Estimating land surface evaporation: a review of methods using remotely sensed surface temperature data. *Surv. Geophys* 29, 421-469.
- [6] Sári M., Hofierka J. (2004). A new GIS-based solar radiation model and its application to photovoltaic assessments. *Trans. GIS* 8(2), 175-190.
- [7] Bisht, G., Venturini, V., Islam, S., Jiang, L. (2005). Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. *Remote Sens. Environ.* 97, 52-67.
- [8] Tanguy, M., Baille, A., González-Real, M., Lloyd, C., Cappelaere, B., Kergoat, L., Cohard, J. (2012). A new parameterisation scheme of ground heat flux for land surface flux retrieval from MODIS products. *J. Hydrol.* 454-455, 113-122.

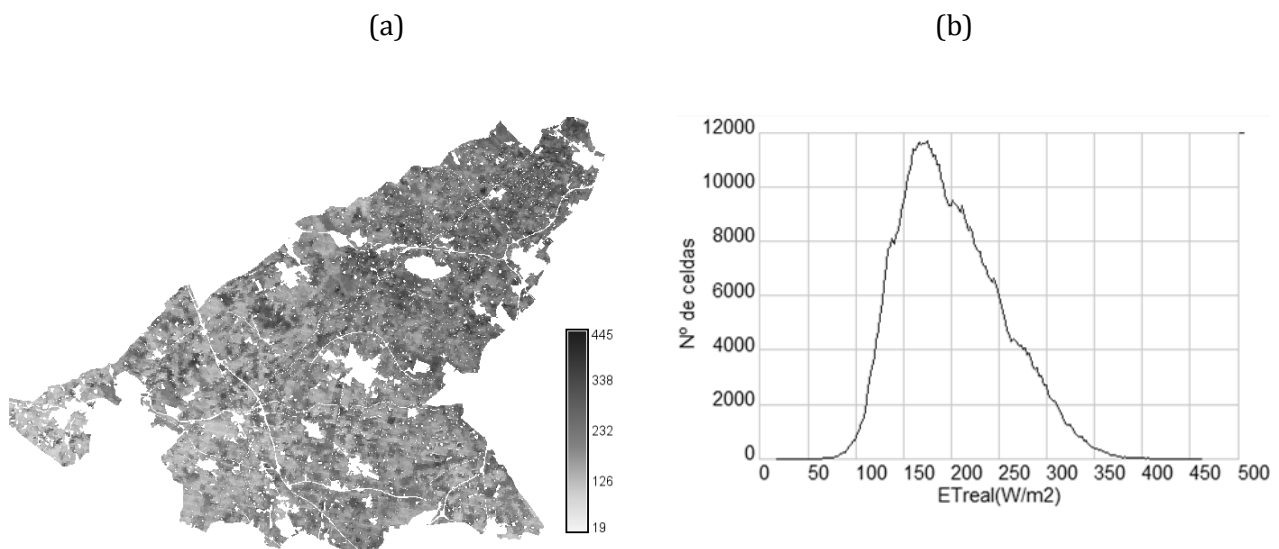


Figura 1. ETreal en la zona regable del Campo de Cartagena estimada desde Landsat para la fecha 28/06/2011: (a) distribución espacial; y (b) distribución de frecuencias

Tabla 1. Resumen de la precisión alcanzada en las Parcelas.

	Parcela A	Parcela B
Correlación (%)	0.82	0.87
Error Medio cuadrático (W/m ²)	36.6	55
Error absoluto medio (W/m ²)	30.75	50.5
Error medio porcentual absoluto (%)	17	28