

Obtención de la evapotranspiración real en la zona de Barrax (Albacete) mediante combinación de imágenes LANDSAT TM y NOAA-AVHRR

M.M. Artigao¹, V. Caselles² y E. Hurtado¹

(1) Departamento de Física Aplicada, Escuela Universitaria Politécnica de Albacete
Universidad de Castilla-La Mancha

(2) Departamento de Termodinámica, Facultad de Física
Universidad de València

RESUMEN

En trabajos anteriores, hemos comprobado que para zonas heterogéneas y de pequeñas dimensiones, como es el caso de Barrax, la evapotranspiración depende más de la distribución de cultivos que de la variación espacial de la temperatura; por ello proponemos su determinación mediante una combinación de imágenes Landsat y NOAA, las primeras las utilizaremos para conocer la distribución de cultivos y las segundas para determinar la variación espacial de la temperatura. Esta metodología permite obtener el valor diario de la evapotranspiración a partir del valor diario de radiación neta y de la diferencia de temperatura entre el aire y la superficie del cultivo, obtenida al mediodía, con un error de 0,8 mm día⁻¹ y conseguir así controlar las necesidades de agua en cultivos de regadío.

ABSTRACT

We have proved, in previous works, that for heterogeneous and small zones, like Barrax is, evapotranspiration depends more on crops distribution than spatial variation of temperature. Therefore, we propose to estimate evapotranspiration in this zone by combining Landsat and NOAA images. The former for knowing the crops distribution and the latter for determining the spatial variation of temperature. This methodology allows to estimate the daily evapotranspiration from the daily net radiation and the temperature difference between air and crop surface obtained near midday with an error of 0.8 mm day⁻¹ and consequently to monitor water requirements over irrigated areas.

Introducción

La estimación de la evapotranspiración es útil para fines diversos, como son la programación de riegos, el cálculo de balances hídricos, así como estudios meteorológicos y climatológicos. En regiones áridas o semiáridas los flujos de agua entran-

tes, lluvia o riego, salen principalmente como evapotranspiración, de ahí la necesidad de un buen conocimiento de esta magnitud para controlar las necesidades hídricas de los cultivos.

En un trabajo previo, obteníamos la evapotranspiración máxima en la región de Albacete (Caselles et al., 1992a), sin embargo el método que aquí proponemos nos permite determinar la evapotranspiración real, lo que es más adecuado para aplicaciones agrícolas. Varios modelos convierten datos de bandas térmicas obtenidos por un sensor a bordo de un satélite en valores de evapotranspiración (Engman and Gurney, 1991). Sin embargo la aplicación de estos modelos requiere múltiples parámetros de entrada, la mayoría de los cuales no están disponibles en estaciones agrometeorológicas.

En el modelo que nosotros utilizamos, basado en el propuesto por Jackson (1977), se determina la evapotranspiración real a partir de la temperatura superficial, obtenida mediante una imagen de satélite en su paso al mediodía, la temperatura máxima del aire y la radiación neta diaria, medidas ambas en garita meteorológica, siendo necesario también disponer de un mapa de cultivos. Las imágenes de temperatura se construyen a partir de datos de las bandas térmicas de los satélites NOAA-AVHRR y el mapa de cultivos utilizando bandas visibles de los satélites Landsat TM, mediante un índice de vegetación.

La zona escogida para su aplicación es la de Barrax, una de las zonas piloto del proyecto EFEDA (Bolle and Langer, 1991) que se encuentra situada al oeste de la provincia de Albacete, a una distancia de 28 km de la ciudad. Sus coordenadas geográficas son 39° 2' de latitud norte y 2° 10' de longitud oeste. Tiene una extensión superficial de 10.000 Ha de las cuales 3.486 son de regadío. El sistema de regadío es por aspersión, utilizándose las variantes tecnológicas «pívor» y «cobertura total enterrada».

Nuestro objetivo consiste en elaborar mapas de evapotranspiración que puedan ser utilizados para controlar las necesidades de agua de los cultivos de regadío de la zona, que son maíz y cebada mayoritariamente y conseguir así un mejor aprovechamiento del agua disponible.

Modelo

A partir de la ecuación del balance diario de energía, se obtiene la ecuación

$$ET_a - Rn_a^* = B (T_a - T_c)_i \quad (1)$$

*Obtención de la evapotranspiración real en la zona de Barrax
(Albacete) mediante combinación de imágenes LANDSAT TM y NOAA-AVHRR*

donde ET es la evapotranspiración (mm), Rn^* es la radiación neta expresada en mm de agua equivalente (mm), $(T_a - T_s)$ es la diferencia de temperatura entre el aire y la superficie del cultivo (K), con el subíndice d se denotan valores diarios para distinguirlos de los valores instantáneos al mediodía, representados con el subíndice i.

B es un coeficiente semiempírico dado por la expresión (Vidal y Perrier, 1989).

$$B = \frac{Rn_d}{Rn_i} \frac{\rho C_p}{L (r_a + r_o)}$$

donde Rn_d/Rn_i es el valor medio anual de la relación entre los valores de Rn diario e instantáneo al mediodía, ρ es la densidad del aire ($kg\ m^{-3}$), C_p el calor específico del aire a presión constante ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$), r_a y r_o las resistencias aerodinámica y del cultivo respectivamente ($s\ m^{-1}$) y L el calor de vaporización del agua ($J\ kg^{-1}$).

Para aplicar de forma operativa la ecuación (1) necesitamos en primer lugar calcular los valores del coeficiente B para los diversos cultivos de la zona (Hurtado, 1992) para ello utilizamos parámetros climáticos y del cultivo (r_o , LAI, h) con el fin de construir un mapa de coeficientes B para la zona, utilizando para ello un mapa de cultivos elaborado a partir de imágenes Landsat TM.

En segundo lugar necesitamos un procedimiento para determinar la temperatura superficial del cultivo a partir de imágenes térmicas NOAA-AVHRR. Por último necesitamos disponer de datos meteorológicos como T_a , R_g y R_n . El procedimiento a seguir para aplicar la metodología completa se puede encontrar en Hurtado (1992).

Resultados

Construcción de un mapa de coeficientes B mediante datos LANDSAT

Los cultivos de la zona de estudio son maíz y cebada, aunque también hay superficies con hierba. El cálculo del coeficiente B se ha realizado a partir de la ecuación (2) (Hurtado, 1992). Los valores de r_a y r_o se han obtenido a partir de las medidas de la altura del cultivo (h) y del índice de área foliar (LAI) realizadas por el Departamento de Producción Vegetal de la Universidad de Castilla-La Mancha durante el proyecto EFEDA (Martín de Santa Olalla, 1992). Los valores obtenidos para maíz, cebada y hierba fueron $B_{maíz} = 0,76$, $B_{cebada} = 0,57$ y $B_{hierba} = 0,21$ expresados en $mm\ día^{-1}K^{-1}$.

Un experimento de validación realizado sobre diferentes pivots durante el proyecto EFEDA proporciona una diferencia entre los valores de evapotranspiración calculados y medidos de $0,2 \pm 0,9\ mm\ día^{-1}$ (Hurtado, 1993).

Para obtener el mapa de cultivos se han elaborado índices de vegetación a partir de dos imágenes Landsat TM pertenecientes a dos fechas en las que el estado fenológico de maíz y cebada permitía su diferenciación. El mapa obtenido se muestra en la figura 3. La imagen obtenida se ha corregido geoméricamente por interpolación al vecino más próximo utilizando una función de registrado obtenida a partir del establecimiento de unos puntos de control.

Construcción de un mapa de temperatura superficial mediante datos NOAA

Para obtener la temperatura superficial a partir de imágenes térmicas NOAA-AVHRR es necesario un método de corrección atmosférica y de emisividad. En la actualidad la técnica «split-window» constituye el método más práctico. Dicho método está basado en la absorción diferencial que sufre la radiancia que llega al satélite en dos longitudes de onda diferentes y en el comportamiento lineal de la transmisividad con el contenido en vapor de agua de la atmósfera. En él se obtiene la temperatura de la superficie como una combinación lineal de las temperaturas radiativas medidas por el satélite en las dos bandas espectrales, según la ecuación (Sobrino et al., 1991).

$$T_s = T_4 + C(T_4 - T_5) + D \quad (3)$$

donde T_s es la temperatura superficial del cultivo, T_4 y T_5 son las temperaturas radiativas medidas en los canales 4 y 5 del sensor AVHRR, C tiene en cuenta el contenido en vapor de agua y D depende de la emisividad superficial de ambos canales y de la atenuación de gases y aerosoles.

Para evaluar los coeficientes C y D de la ecuación (3) se realizaron transectos de emisividad y temperatura durante el proyecto EFEDA, se realizaron simulaciones de transferencia radiativa por medio del programa LOWTRAN-7 y se utilizaron radiosondeos que el Instituto Nacional de Meteorología tomó en la zona de Barrax y en ausencia de nubes. Así se obtuvieron los valores (Caselles et al., 1992b) $C = 2,25$ $D_{\text{maíz}} = 0,7$ K, $D_{\text{cebada}} = 1,2$ K y $D_{\text{hierba}} = 1,9$ K

Para construir la imagen de temperaturas es necesario previamente corregirla geoméricamente, para ello se ha utilizado un método de interpolación bilineal, utilizando, al igual que en el caso de las imágenes Landsat, una función de registrado basada en puntos de control.

Finalmente, para superponer las imágenes de coeficientes B y de temperatura, fue necesario degradar la imagen NOAA a escala Landsat, con el fin de poder construir el mapa de evapotranspiración a escala Landsat.

Construcción del mapa de evapotranspiración de la zona

Así, a partir del modelo podemos escribir el siguiente sistema de ecuaciones:

$$ET = Rn + B(T_a \sim T_s) \quad (4)$$

$$ET_{\max} = Rn + B(T_a \sim T_{s\min}) \quad (5)$$

donde ET_{\max} es el valor máximo de la evapotranspiración, obtenido a partir de los valores determinados en la estación agrometeorológica de Barrax.

Restando ambas ecuaciones resulta una expresión del tipo

$$ET = ET_{\max} - B(T_s \sim T_{s\min}) \quad (6)$$

Así para nuestra zona el valor de $ET_{\max} = 8,6 \text{ mm día}^{-1}$. La imagen de evapotranspiración de la zona se obtiene a partir de la ecuación (6). Para ello a la imagen de temperaturas le tenemos que restar el valor de $T_{s\min}$ y la imagen obtenida se multiplica por el mapa de cultivos, al que se le han asignado los correspondientes valores del coeficiente B. La figura 5 nos muestra el mapa de evapotranspiración real de la zona de Barrax.

De esta forma se puede obtener la evapotranspiración real con un error absoluto medio de $0,8 \text{ mm día}^{-1}$, teniendo en cuenta que:

- 1) El error introducido al obtener la evapotranspiración máxima es de $0,1 \text{ mm día}^{-1}$
- 2) El error cometido al calcular el coeficiente B es $0,10 \text{ mm día}^{-1} \text{ K}^{-1}$
- 3) El error introducido al calcular la temperatura del suelo mediante la imagen de satélite es de $0,12 \text{ K}$

Conclusión

Hasta el momento actual la previsión de la tasa de evapotranspiración en la zona de regadío de Albacete se ha realizado utilizando el método de Penman, el cual nos permite estimar el valor máximo de la evapotranspiración. La ventaja del modelo que proponemos es la de estimar la evapotranspiración real y no su cota superior (la evapotranspiración máxima). De este modo se podrá realizar un considerable ahorro en los recursos acuíferos y por consiguiente la extensión de la zona de regadío podrá aumentar, incrementándose la riqueza agrícola de la región.

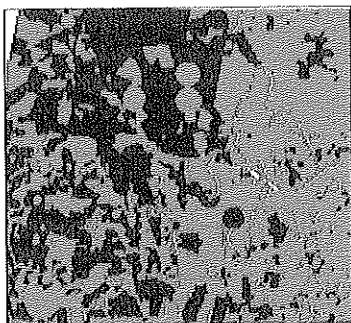


FIGURA 1

Mapa de cultivos de la zona de Barrax:
cebada, maíz y barbecho en colores verde, azul y rojo. (A. 107)

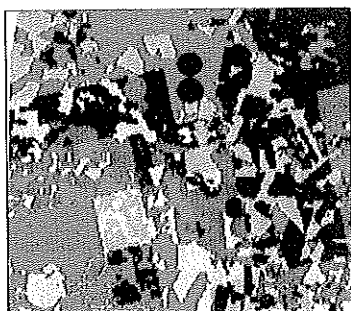


FIGURA 2

Mapa de temperatura superficial.
Los valores van desde 33 (azul)
a 46 (rojo) °C. (A. 108)

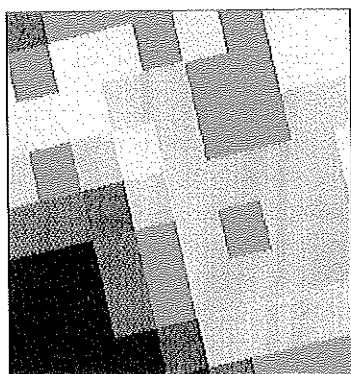


FIGURA 3

Mapa de evapotranspiración real. Los valores van desde
1,5 (azul) a 7 (rojo) mm/día. (A. 109)

Bibliografía

- Bolle, H.J. and Langer, I.:** 1991. Echival Field Experiment in a Desertification-Threatened área (EFEDA). *Field Experiment Plan*. Meteorological Institute, Free University of Berlin, Germany.
- Caselles, V. et al.:** 1992a. Evaluation of the maximum evapotranspiration over La Mancha region, Spain, using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 13, 939-946.
- Caselles, et al.:** 1992b. A physical model for interpreting the land surface temperature obtained by remote sensors over incomplete canopies. *Remote Sensing of Environment* 39, 203-311.
- Engman, E.T. and Gurney, R.J.:** 1991. *Remote Sensing in Hydrology*. (London: Chapman and Hall).
- Hurtado, E.:** 1992. *Estimación de la evapotranspiración del maíz en la zona de Albacete*. Doctoral Thesis. Faculty of Physics, University of Valencia, Burjassot, Spain.
- Hurtado, E. et al.:** 1993. Estimating maize (Zea Mays) evapotranspiration from NOAA-AVHRR thermal data in the Albacete área, Spain. *International Journal of Remote Sensing* (aceptado para publicación)
- Jackson, R.D. et al.:** 1977. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. *Water Resources Research*, 13, 651-656.
- Martín de Santa Olalla, F. and Brasa, A.:** 1992. The Echival Field Experiment in a Desertification Threatened área (EFEDA). *First Annual Report* (Bolle, H.J. and Streckenback, B., eds). Meteorological Institute, Free University of Berlin, Germany, pp. 55-78.
- Sobrino, J.A. et al.:** 1991. Atmospheric correction for land surface temperature using NOAA 11 AVHRR channels 4 and 5. *Remote Sensing of Environment*, 38, 19-34.
- Vidal, A. and Perrier, A.:** 1990. Irrigation monitoring by following the water balance from NOAA-AVHRR thermal IR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 28, 949-954,0

