

CUANTIFICACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE UNA ZONA REGABLE MEDIANTE IMÁGENES DE SATÉLITE NOAA-AVHRR Y METEOSAT

C. ESCRIBANO, D. A. NAFRÍA, J. A. DELGADO Y J. L. CASANOVA

carlos@latuv.uva.es

Laboratorio de Teledetección (LATUV)
Facultad de ciencias, Universidad de Valladolid
Pº de la Magdalena s/n. 47005 Valladolid

RESUMEN: En este trabajo se presenta una aplicación práctica de un método de estimación de la evapotranspiración real de los cultivos (ET) mediante imágenes de satélite NOAA-AVHRR y Meteosat. El método está basado en un modelo de balance de energía. Los resultados obtenidos se han comparado con los obtenidos, mediante métodos empíricos, a partir de los datos de cuatro estaciones meteorológicas. Dado que la correlación entre ellos fue buena, se ha procedido a la creación de mapas de ET. La incorporación de estos valores a un sistema de información geográfica (SIG) permite determinar las pérdidas por evapotranspiración que se producen en una determinada región. En este caso se presentan los resultados obtenidos para la zona regable del Duero en las provincias de Valladolid y Zamora.

ABSTRACT: In this paper, a practical application of a methodology to estimate crops evapotranspiration by means of NOAA-AVHRR and Meteosat satellite images is presented. This methodology is based on a energy balance model. The obtained results have been compared with the reference evapotranspiration ones, calculated by empirical methods, from four meteorological weather stations data. Due to its good correlation between then, this methodology has been applied to create evapotranspiration maps. The introduction of these values to a GIS allows to determine the evapotranspiration of a region. In this paper, the determined water losses of the Duero river irrigated area are presented from Valladolid and Zamora provinces.

Palabras clave: evapotranspiración, teledetección, NOAA-AVHRR, Meteosat, SIG.

INTRODUCCIÓN

El agua se ha convertido en uno de los recursos más preciados de una sociedad que cada vez lo demanda más. A nivel mundial, su consumo se ha triplicado en los últimos cincuenta años (Worldwach Institute, 1999). En España, la superficie de regadío se ha incrementado en casi un cincuenta por ciento en el período 1967-1990 (Caballer *et alii*, 1998), con una previsión, según el Plan Hidrológico Nacional, de un incremento del 0.66 por ciento anual para uso agrícola hasta el año 2012. Ante tal inquietante situación, no cabe otra solución que poner el máximo empeño en llevar a cabo la mejor gestión de este preciado líquido.

A lo largo de las últimas décadas han sido desarrollados multitud de modelos empíricos para determinar las relaciones suelo-planta-atmósfera, a partir de los da-

tos puntuales recogidos por las estaciones meteorológicas. Con la introducción de la teledetección, se ha conseguido suministrar a los modelos de pronóstico y diagnóstico, información detallada de características superficiales, lo que sería imposible de obtener mediante instrumentos terrestres. Por esto, es de gran utilidad investigar formas de combinar ambas fuentes de información con los modelos biofísicos para simular procesos de la superficie terrestre, como es el caso de la evapotranspiración (Smith *et alii*, 1992). Sin embargo, con la utilización de estos métodos (Seguin e Itier, 1983), la creación de mapas de ET queda supeditada a la presencia de suficientes estaciones meteorológicas. Esto hace que sean métodos laboriosos, onerosos y que requieren demasiado tiempo. Entre estos métodos están los desarrollados por Nemani y Running en 1989, Hope y McDowell en

1992 y Moran *et alii*. en 1994, en los que introdujeron una relación entre la temperatura de superficie (Ts) y ciertos índices de vegetación obtenidos por teledetección, como el índice de la diferencia normalizada de vegetación (NDVI).

Durante la última década se han dedicado grandes esfuerzos al desarrollo de métodos que permitan la estimación de la ET a partir de imágenes de satélite, obviando así la necesidad de recurrir a los datos meteorológicos. Además estos métodos permiten la creación directa de mapas, lo que es de gran interés, no solo para la información de la ET en cualquier zona puntual, sino también para poder determinar, mediante un SIG, los consumos de agua en un área o zona determinada.

Estos métodos son muy distintos en función de las imágenes de satélite utilizadas. Así en el presente trabajo se presenta brevemente, puesto que se ha hecho en anteriores ocasiones (Escribano *et alii*, 1999), un método de estimación de la ET a partir de imágenes de satélite NOAA-AVHRR y Meteosat. Este método está basado en uno desarrollado por Jackson *et alii* en 1977, Itier y Riou en 1982, Seguin e Itier en 1983, Nieuwenhuis *et alii* en 1985, y posteriormente modificado por Carlson *et alii* en 1995, pero, a diferencia de éstos, no requiere datos meteorológicos.

El uso de los SIG es de extraordinaria utilidad para gestionar la información obtenida sobre evapotranspiración, combinándola con otras capas como las superficies de cultivos, comarcas, etc., así como la creación de mapas que representen nuevas variables o características del terreno. En este caso en concreto, nos ha permitido determinar las pérdidas de agua por evapotranspiración que se producen en determinadas zonas.

MATERIALES Y MÉTODOS

En primer lugar se ha estimado la ETo diaria a partir de los datos de las cuatro estaciones meteorológicas que se citan en la tabla 1. El programa utilizado para ello fue el IAM_ETO desarrollado por el Water Use Efficiency Network del CIEHAM-IAM-BARI (Valenzano - Bari, Italia). Este programa proporciona la ETo diaria empleando distintos métodos empíricos: Penman-Monteith, Penman-FAO, Priestley-Taylor, Radiación-FAO, Blaney Criddle-FAO, SCS Blaney Criddle, y Hargreaves. Los datos utilizados fueron los correspondientes al año 1994.

Estación	X	Y	Z (m)
Zamadueñas	357837.5	4618272.9	701
Montañana Nueva	681370.5	4620974.9	225
Montañana Vieja	681441.0	4621840.9	225
El Poal	822889.5	4620948.0	279

Tabla 1. Coordenadas UTM, huso 30, ED50, de las estaciones meteorológicas empleadas en el estudio.

Las imágenes de satélite empleadas para la estimación de la ET fueron NOAA-AVHRR y Meteosat, recibidas y tratadas diariamente por el Laboratorio de Teledetección de la Universidad de Valladolid (LATUV).

A partir del método desarrollado por Carlson *et alii* en 1995, y cuya expresión matemática es la que se indica a continuación, se han ido calculando los distintos parámetros de la misma a partir de trabajos realizados por otros autores previamente.

$$Rn_{24} - ET_{24} = B^* (T_{s13} - T_{a13})$$

Donde ET_{24} es la evapotranspiración diaria (mm), Rn_{24} es la radiación neta diaria (mm), T_{s13} y T_{a13} son la temperatura superficial (K) y la temperatura del aire (K) a hora de paso del satélite (aproximadamente a las 13 h), y B y n son dos coeficientes que dependen de la cantidad de cubierta vegetal, la velocidad del viento y la rugosidad de la superficie.

La Rn diaria se estimó a partir del método propuesto por Goodin en 1995, para lo cual hubo que estimar previamente la radiación global mediante un método desarrollado en el propio LATUV a partir de las imágenes de satélite Meteosat.

El cálculo de la Ts se determinó por medio de la clásica ecuación basada en el método de split-window, en función del contenido de vapor de agua de la atmósfera y de la emisividad de la superficie de los canales 4 y 5 de NOAA-AVHRR, y en la atenuación de los gases y aerosoles.

La Ta se estimó mediante la aplicación del algoritmo de Ramakrishna-Nemani (1993), a partir de las imágenes correspondientes de Ts y del índice normalizado de vegetación (NDVI). Tanto la radiación global como la Ta fueron contrastadas con medidas directas obtenidas de las estaciones meteorológicas, lo que permitió desechar determinados valores correspondientes a días con cierta nubosidad y fuertes vientos que no se adaptan bien a este método de estimación de la ET.

Los coeficientes B y n se determinaron según el método propuesto por Carlson *et alii* en 1995, en función de la fracción de la cubierta vegetal (Fr) o del NDVI escalado (N^*).

Una vez obtenidos los mapas de ET, se procedió a extraer los datos correspondientes a los píxeles de las estaciones meteorológicas y a compararlos con los de ETo determinados a partir de los datos meteorológicos.

La representación de la ET en mapas se ha realizado empleando el software SIG Idrisi en formato raster. Estos mapas pueden ser completados con información de comarcas, carreteras, núcleos urbanos, cultivos, etc. En este trabajo se seleccionó para el día 8 de julio de 1994 una ventana correspondiente a la Vega del Duero de las provincias de Valladolid y Zamora, de la que se digitalizaron los términos municipales que se presentan más adelante en la figura 2, con el fin de las pérdidas de agua por ET. La información raster se cruzó con información vectorial planimétrica, lo que permitió generar cartografía de alta calidad y realizar consultas cruzadas sobre necesidades de agua para los polígonos de los términos municipales u otras áreas de interés.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados muestran que hay buena correlación entre la ET estimada a través de las imágenes de satélite y los valores de ETo calculados por distintos métodos empíricos a partir de los valores meteorológicos (Figura 1). Aunque, los valores de estas dos variables no tienen por qué coincidir, ya que la ET de un cultivo es igual a la ETo afectada por un coeficiente de cultivo Kc que depende del estado fenológico del mismo, sin embargo, y a falta de un Kc correspondiente a todos los cultivos que se incluyen en un píxel NOAA, puede pensarse que este factor tiene mayor importancia en los meses de verano y que su valor en esta época del año es muy próximo a la unidad.

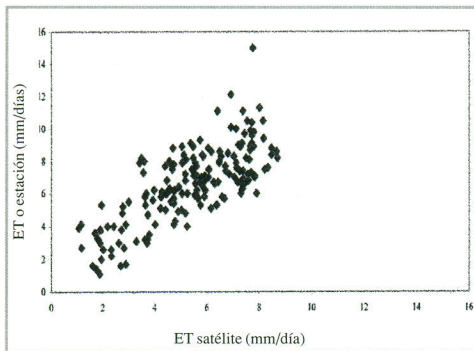


Figura 1. Comparación entre la ETo obtenida mediante el método de Penman-FAO y la ET obtenida mediante satélite, para las cuatro estaciones meteorológicas de estudio.

En general, este método presenta buenos resultados, excepto para días con bastante nubosidad y fuertes vientos que enmascaran los resultados. La presencia de nubes a distinta hora de la de paso del satélite NOAA causan un error de cálculo en los valores de radiación, mientras que los vientos fuertes causan un incremento considerable de la ET y por el contrario no quedan recogidos en ningún término de la ecuación.

En la figura 2 se presenta el mapa con los polígonos de los términos municipales de la Vega del Duero de las provincias de Valladolid y Zamora rasterizados según la cuadrícula de NOAA-AVHRR. La asignación de los valores de ET estimados por teledetección a cada uno de estos píxeles permitió el cálculo del agua perdida por evapotranspiración en cada término municipal o en el conjunto de la zona objeto de estudio. En este trabajo se obtuvo como resultado final un total de 956 píxeles, que suponen una superficie de 956 km², con una ET comprendida entre 4 y 9 mm/día. La cantidad total de ET que se produce en esta área asciende a la cantidad de 5.66 Hm³, y una ET media de 5.9 mm/día.

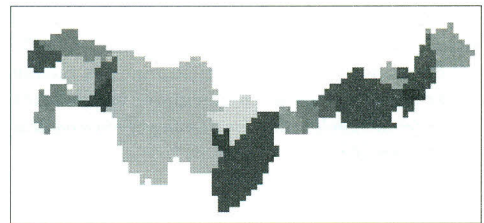


Figura 2. Polígonos de los términos municipales de la vega del Duero (Valladolid y Zamora) rasterizados según la cuadrícula de NOAA-AVHRR.

CONCLUSIONES

No cabe duda de la utilidad de una herramienta como ésta. Además de poder suministrar datos relativamente precisos (dentro de 1 km²), proporcionan una fuente de información en el ámbito regional que puede servir para llevar a cabo una buena gestión de los recursos hídricos.

BIBLIOGRAFÍA

- CABALLER, V. y GUADALAJARA, N., 1998. Valoración económica del agua de riego. Ed. Mundiprensa. Madrid. ISBN 84-7114-729-7
- CARLSON, T. N., CAPEHART, W. J. and GILLIES, R. R., 1995. A new look at the simplified method for remote sensing of daily evapotranspiration. *Remote Sens. Environ.* 54:161-167.

- GOODIN, D. G., 1995. Evaluation of a combined modelling-remote sensing method for estimating net radiation in a wetland: a case study in the Nebraska Sand Hills, U.S.A. *Int. J. Rem. Sens.*, 16:1481-1494.
- ESCRIBANO, C., CASANOVA, J.L. y DELGADO, J.A., 1999. Estimación de la evapotranspiración a partir de imágenes de satélite NOAA-AVHRR y Meteosat. En: Teledetección: avances y aplicaciones. Ed. Servicio de Publicaciones de la Diputación de Albacete. ISBN:84-89659-62-1.
- HOPE, A.S., McDOWELL, T.P., 1994. The relationship between surface temperature and a spectral vegetation index of a tallgrass prairie: effects of burning and other landscape controls. *International Journal of Remote Sensing*, 13, 2849-2863.
- ITIER, B., RIOU, C., 1982. Une nouvelle methode de determination de l'évapotranspiration réelle par thermographie infrarouge. *J. Rech. Atmos.* 16:113-125.
- JACKSON, R.D., REGINATO, R.J., IDSO, S.B., 1977. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. *Water Resour. Res.* 13:651-656.
- MORAN, M.S., CLARKE, T.R., INOUE, Y., VIDAL, A., 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of environment*, 49, 246-263.
- NEMANI, R.R., and RUNNING, S.W., 1989. Estimating regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and Thermal-IR AVHRR data. *Journal of Applied Meteorology*, 28, 276-284.
- NIEUWENHUIS, G. J. A., SCHMIDT, E. A., y TUNNISSEN, H. A. M., 1985. Estimation of regional evapotranspiration of arable crops from thermal infrared images. *J. Rem. Sens.* 6:1319-1334.
- RAMAKRISHNA R. N. LARS, P. and STEVEN W. R. 1993. Developing satellite-derived estimates of surface moisture status. *Journal of applied meteorology*. 32:548-557.
- SEGUIN, B., ITIER, B., 1983. Using midday surface temperature to estimate daily evaporation from satellite thermal IR data. *Int. J. Remote Sens.* 4:371-383.
- SMITH, E. A., CROSSON, W. L., TANNER, D. B., 1992. Estimation of surface heat and moisture fluxes over a prairie grassland. In situ energy budget measurements incorporating a cooled mirror dew point hygrometer. *Journal of geophysical research*, Vol. 97, NO. D17, 18557-18582, November 30.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al SITA de Valladolid, al CSIC y SIA de Zaragoza y al Servei d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya el suministro de datos meteorológicos.