

BALANCE HÍDRICO Y ESTRÉS EN LA CUBIERTA VEGETAL UTILIZANDO UNA SECUENCIA MULTITEMPORAL DE IMÁGENES. CASO DE ESTUDIO: CULTIVO DE TRIGO EN SECANO

E. A. Torres, A. Calera, I. Campos, J. González-Piqueras, C. Balbontín y M. Ll. López.

Grupo de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla-La Mancha.
Campus Universitario. 02071. Albacete. enrique.torres@uclm.es

RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología que permite estimar la evapotranspiración, así como el Estrés Hídrico, en cubiertas vegetales, a escala diaria utilizando para ello una secuencia multitemporal de imágenes multiespectrales en el espectro solar. La cubierta estudiada es un trigo en secano, en Albacete, el cual es un cultivo herbáceo de gran importancia. En climas semiáridos, como es el caso, es usual que se presenten períodos de estrés hídrico a lo largo del ciclo de crecimiento.

La metodología integra las imágenes multiespectrales en el modelo de balance hídrico en la capa de suelo donde se asientan las raíces a través de la capacidad de derivar el Coeficiente de cultivo basal, K_{cb} , relacionado con la transpiración, desde los Índices de Vegetación espectrales, IV. Se aplica para ello el procedimiento de coeficiente dual descrito en FAO56, que permite separar las componentes de evaporación y transpiración.

Se procede a la comparación de la ET , calculada según el modelo, contra los datos experimentales de ET medidos mediante una estación meteorológica que estima la razón Bowen. La comparación se efectúa a lo largo de un ciclo de crecimiento de una cubierta de trigo en secano, con períodos de estrés. Los resultados muestran que la metodología propuesta se ajusta a los resultados experimentales y puede ser usada para la determinación de la ET para cultivos no regados.

ABSTRACT

This work presents a methodology which allows the estimation of the water budget components and the water stress of canopy with a daily time resolution. A multitemporal image sequence in the solar spectrum is used for this purpose. The canopy studied here is a rainfed wheat in Albacete, Spain, which is a relevant crop in Spain and in the whole Mediterranean basin. In such semi-arid Mediterranean climates are usual the water stress periods along the crop development.

The methodology incorporates a sequence of multispectral images into the hydrological model. The FAO 56 dual coefficient model is used which allows the splitting of the evaporation and transpiration components. The images are integrated into the model by using the spectral vegetation indices to determine the basal crop coefficient.

The evapotranspiration, ET , is compared to experimental data obtained from a meteorological station which assess the Bowen ratio and a soil water moisture equipment along of a wheat crop development in rain fed conditions, in coincidence to water stress periods. The results show that the methodology proposed here is in accordance with the experimental data and can be used for the estimation of the water budget components at regional scale.

Palabras clave: evapotranspiración, índices de vegetación, coeficiente de cultivos, cultivos de secano.

INTRODUCCIÓN

La metodología FAO-56 (Allen et al. 1998) se usa ampliamente para el cálculo de la evapotranspiración, ET , y de las necesidades de riego (Allen 2000; Allen et al. 1998; Allen et al. 2005; Er-Raki et al. 2007; Suleiman et al. 2007). Aunque FAO-56 está desarrollado preferentemente para cultivos de regadío, la aproximación de coeficiente dual y modelado de estrés hídrico permite la aplicación de esta metodología a cultivos que se encuentran fuera de las condiciones óptimas (como es el caso de vegetación en estrés). La aproximación del coeficiente dual con estrés hídrico

de FAO-56 para la estimación de la ET se presenta en la ecuación 1.

$$ET_{c_{adj}} = (K_s K_{cb} + K_e) ET_0 \quad (1)$$

Actualmente existen en la literatura relaciones entre índices de vegetación y el coeficiente de cultivo basal, K_{cb} , (Bausch 1993; Calera 2000; González 2006; Neale et al. 1989). Estas relaciones permiten determinar este parámetro de la cubierta a través de imágenes de satélite en grandes áreas. Este coeficiente "espectral", deducido de imágenes puede incorporarse dentro de un balance hídrico que permita estimar la ET .

SITIO DE ESTUDIO

El área de estudio es una parcela de trigo y se localiza en la provincia de Albacete, sureste español (39° 16' 34" N, 1° 58' 32" O, 700 m.). La precipitación media anual en el área durante los últimos 30 años es de 340 mm. La temperatura anual media en el mismo periodo es de 13.6° C.

Se siguió la evolución del cultivo de trigo de secano a través de la cobertura vegetal verde. Dicho cultivo fue sembrado el 21 de octubre de 2005 y cosechado el 14 de junio de 2006. En marzo de 2006 se instalaron en la parcela una estación agrometeorológica que permite determinar la razón Bowen (Bowen 1926). La estimación de la razón Bowen es una aproximación sencilla y confiable del balance de energía en superficie, del que posteriormente se puede calcular la *ET*. Los datos obtenidos por la estación Bowen se sometieron al control de calidad diseñado por Ohmura (1982), para mejorar la calidad de los datos.

EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO

Los datos medidos de *ET* y acumulados a escala diaria muestran una oscilación en el periodo considerado entre valores cercanos a cero y 4 mm/día, observándose incrementos notables en los días posteriores a las lluvias, ver Figura 4. Durante los días de medición se registró un total de 142 mm de precipitación y, para el mismo periodo, un total de 155 mm de *ET*. El agua almacenada en el suelo durante el invierno y la primavera ha de suplir parte del agua consumida durante el cultivo en *ET*.

SEGUIMIENTO DE LA COBERTURA VEGETAL

La fracción de cobertura vegetal verde se midió por medio de fotografías tomadas con una cámara digital. Las fotografías se tomaron en la vertical evitando sombras de la vegetación sobre el suelo utilizando una pantalla de tela, la cual reduce la iluminación directa y disminuye las sombras. Posteriormente, utilizando el software ENVI 4.1 se trató la imagen con la técnica de clasificación supervisada y por medio de este método se determinó la fracción de cobertura vegetal verde (fcv).

IMÁGENES EMPLEADAS

Durante las el periodo de medición se obtuvieron 7 imágenes Landsat 5 TM libres de nubes en la zona estudiada. Las imágenes fueron georreferenciadas empleando 100 puntos de control

utilizando polinomios de segundo orden. Posteriormente se aplicó la corrección atmosférica propuesta por Guanter (2007). La elevada presencia de nubes limita las imágenes disponibles, especialmente en la primera parte del ciclo debido a la ausencia de imágenes, se ha recurrido a una imagen Landsat 7 ETM+ del 2 de marzo, la cual, a pesar del problema en el SLC (Scan Line Corrector), ha permitido obtener información de la parcela de estudio. La tabla 1 muestra las imágenes finalmente empleadas en este estudio.

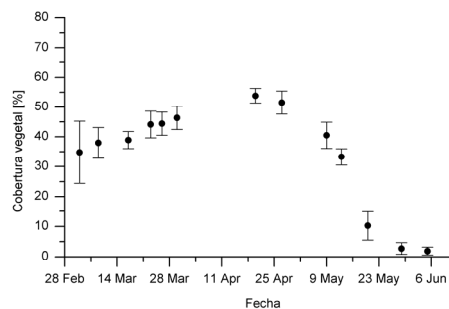


Figura 1. Evolución de la cobertura vegetal verde en un cultivo de trigo de secano. Año 2006.

Tabla 1. Imágenes Landsat empleadas.

Plataforma	Fecha 2006	Path	Row	% Nubes
Landsat 7	02 mar	199	33	2
Landsat 5	18 Abr	200	33	42
Landsat 5	27 Abr	199	33	12
Landsat 5	13 May	199	33	50
Landsat 5	20 May	200	33	40
Landsat 5	29 May	199	33	18
Landsat 5	05 Jun	200	33	0
Landsat 5	21 Jun	200	33	15

De las imágenes de satélite se dedujo el *NDVI* (relación entre el rojo y el infrarrojo cercano), según la ecuación 2 y se extrajo la información del *NDVI* en los puntos en que se midió fcv. Con estos datos se planteó una relación entre el *NDVI* y la fcv medida en campo (véase la figura 2).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2).$$

Para el presente trabajo se ha utilizado la relación descrita por Bausch y Neale (1987), adaptada a gramíneas, usando la metodología ASCE 28. Esta relación se presenta en la ecuación 3

$$K_{cb}^* = 1.36NDVI - 0.06 \quad (3)$$

Cuando se determina *Kcb* a través de las relaciones *NDVI-Kcb* de imágenes de satélite que

cubren extensas áreas, el K_{cb} deducido no necesariamente corresponde a una cubierta de manejo y sanidad óptimos hasta ese instante. Por esto se considera necesario denominar como K_{cb}^* al coeficiente de cultivo basal derivado del $NDVI$ en que se desconoce el manejo del cultivo. Así K_{cb}^* determinaría el “techo” de la transpiración de una cubierta en particular con un manejo y sanidad determinados, para unas condiciones ambientales dadas (González 2006).

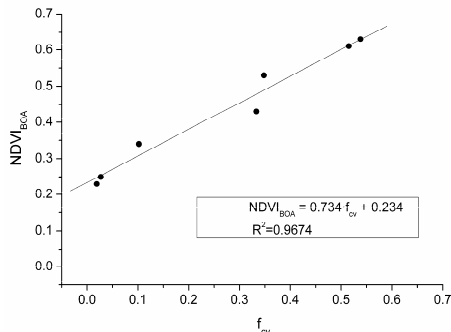


Figura 2. Relación entre $NDVI_{BOA}$ y f_{cv} obtenida en un cultivo de trigo en secano.

Por medio de la relación entre $NDVI$ y f_{cv} , presentada en la Fig. 2, se dedujo el $NDVI$ en las fechas en que se contaba con medición de f_{cv} . Utilizando la relación presentada en la ec. 3, se estimó K_{cb}^* . Mediante la interpolación de estos datos se obtuvo la evolución a escala diaria de K_{cb}^* para el cultivo de trigo estudiado, tal y como se muestra en la Fig. 3. La evolución de K_{cb}^* deducida se introdujo en el modelo FAO-56 y se procedió a simular la ET , (ec. 1). Los resultados del modelo muestran que la simulación presenta una evolución similar a los datos medidos; el error medio cuadrático observado fue de 0.73 mm/día. Experiencias previas en la modelación de la ET en suelo desnudo con el modelo FAO-56 nos han llevado a proponer una reducción en la componente de evaporación; esta modificación al modelo se describe en (Torres & Calera 2008). La aplicación de la corrección en la componente de evaporación mejora los resultados obtenidos del modelo reduciendo el error medio cuadrático de 0.73 a 0.44 mm/día. Los resultados para el modelo FAO-56 con la corrección por evaporación se presentan en Fig. 4.

La simulación realizada empleando FAO-56 requiere el cálculo del balance hídrico que permite estudiar, además de la ET , otras componentes del balance como son la percolación y el cambio del contenido de humedad en el suelo. Como se observa en la Figura 5, debido al bajo

contenido en agua del suelo, el valor de K_s suele ser inferior a uno a lo largo del período de estudio, lo que indica que la planta está sometida a estrés hídrico durante la mayor parte del ciclo vegetativo. La reducción de la ET aplicada por el K_s es importante, por lo que es un factor necesario para la determinación de la ET en zonas no regadas.

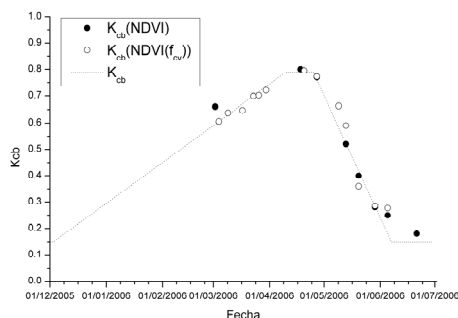


Figura 3. Evolución de datos diarios de K_{cb}^* deducida de los datos de $NDVI$ y f_{cv}

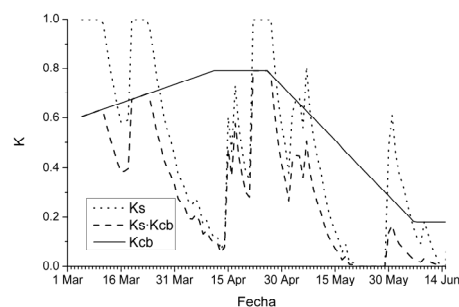


Figura 5. Evolución del coeficiente de cultivo y estrés hídrico modelado con FAO 56 para un cultivo de trigo en secano.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los datos medidos y modelados de ET muestran una concordancia notable a lo largo de un ciclo de crecimiento, para el caso de una cubierta de trigo de secano, la cual está sometida a estrés hídrico.

El procedimiento aquí utilizado, en el cual el K_{cb}^* , obtenido desde una secuencia de imágenes multiespectrales en el espectro solar, se integra en un modelo de balance hídrico, permite el seguimiento adecuado de la ET real. Así pues, el balance hídrico se puede hacer con fiabilidad mediante la extrapolación de la metodología FAO 56 a cubiertas vegetales de cultivos de secano no regadas, lo que permite, con la ayuda de imágenes de satélite la aplicación de modelos hidrológicos a grandes áreas.

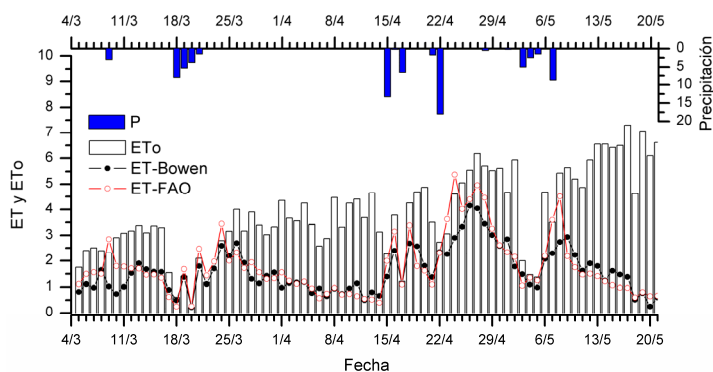


Figura 4. Aplicación del modelo FAO 56 con la corrección de evaporación del suelo desnudo en trigo de secano.

BIBLIOGRAFÍA

Allen, R.G. 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *Journal of hydrology*, 229.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements* Rome, FAO.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., & Wright, J.L. 2005. FAO-56 Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering*, 131, 2-13.

Bausch, W.C. 1993. Soil Background Effects on Reflectance-Based Crop Coefficients for Corn. *Remote sensing of environment*, 46, 213-222.

Bausch, W.C., & Neale, C.M.U. 1987. Crop Coefficients Derived from Reflected Canopy Radiation: a Concept. *Transactions American Soc. Agric. Engin.*, 30, 703-709.

Bowen, I.S. 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physics Review*, 27, 779-787.

Calera, A. 2000. Seguimiento mediante teledetección de la cubierta vegetal de los cultivos de secano y su relación con variables climáticas en Castilla-La Mancha. *Fac. Física*, p. 327. UVA.

Er-Raki, S., Chenhbouni, A., Hoedjes, J., Ezzahar, J., Duchmin, B., & Jacob, F. 2007. Improvement of FAO-56 method for olive orchards through sequential assimilation of thermal infrared-based estimates of ET. *Agricultural water management*.

González, J. 2006. Evapotranspiración de la cubierta vegetal mediante la determinación del coeficiente de cultivo por teledetección. In, *Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica*, p. 292. Valencia. UVA.

Guanter, L., Estellés, V., & Moreno, J. 2007. Spectral calibration and atmospheric correction of ultra-fine spectral and spatial resolution remote sensing data. Application to CASI-1500 data. *Remote sensing of environment*, 109, 54-65.

Neale, C.M.U., Bausch, W.C., & Heerman, D.F. 1989. Development of Reflectance-Based Crop Coefficients for Corn. *Transactions of the ASAE*, 32, 1891-1899.

Ohmura, A. 1982. Objective criteria for rejecting data for bowen ratio flux calculations. *Journal of applied meteorology*, 21, 595-598.

Suleiman, A.A., Tojo Soler, C.M., & Hoogenboom, G. 2007. Evaluation of FAO-56 crop coefficient procedures for deficit irrigation management of cotton in a humid climate. *Agricultural and forest meteorology*, 91, 33-42.

Torres, E.A., & Calera, A. 2008. Bare Soil Evaporation under High Evaporation Demand. A modification proposed to FAO-56 model. *Hydrological Science Journal*.

AGRADECIMIENTOS

Financiado por los proyectos: EBHE (CGL2008-04047), MITYC y PLEIADeS VIFP (037095-GOCE), EU.