

## EVAPOTRANSPIRACIÓN Y ESTRÉS DE LA CUBIERTA VEGETAL UTILIZANDO UNA SECUENCIA MULTITEMPORAL DE IMÁGENES DE SATÉLITE. CASO DE ESTUDIO: VIÑA EN REGADÍO

I. Campos (\*), A. Calera (\*), E. A. Torres (\*), C. Balbontín (\*), J. González-Piqueras (\*), M. Ll. López (\*)  
y C. M. U. Neale (\*\*).

(\* *Grupo de Teledetección y SIG. Instituto de Desarrollo Regional, Universidad de Castilla-La Mancha.  
Campus Universitario 02071. Albacete. isidro.campos@uclm.es*

(\*\* *Biological and Irrigation Engineering Department, Utah State University, Logan, USA.*

### RESUMEN

En este trabajo se presenta y valida una metodología que permite estimar las componentes del Balance Hídrico del Suelo y el Estrés Hídrico en la cubierta vegetal a escala diaria. Para ello se han utilizado las bandas en el espectro solar de una secuencia multitemporal de imágenes multiespectrales de alta resolución espacial. La metodología se aplica y valida en una cubierta vegetal de viña en regadío. La importancia del viñedo tanto en España como en otras zonas productoras radica tanto en el continuo incremento de la superficie cultivada como en el aumento de la demanda de producciones de mayor calidad.

Las imágenes multiespectrales se integran en el modelo de balance hídrico descrito en FAO-56 de la zona radicular del suelo a través del procedimiento del coeficiente de cultivo dual, que separa las componentes de evaporación y transpiración. Dicha integración se analiza y discute a través de la capacidad de derivar un coeficiente relativo a la transpiración del cultivo desde los Índices de Vegetación multiespectrales (IV). El cálculo diario del balance hídrico permite, además, modelar el estrés hídrico al que se ven sometidas las plantas.

De forma independiente, la evapotranspiración del cultivo fue medida durante un ciclo de crecimiento de viña mediante una torre de covarianza de torbellinos, estos datos medidos se comparan con las estimaciones mediante el modelo para su análisis. Las mayores diferencias entre los valores medidos y modelados se hallan en los días posteriores a riegos y lluvias, dado que la componente evaporativa del suelo es relevante, no obstante estas diferencias abren una vía para la mejora del modelo propuesto.

### ABSTRACT

In this work is presented and validated a methodology for the estimation of the Soil Water Balance components and the Water Stress at daily scale by using a multitemporal sequence of high resolution satellite images in the optical spectral range. The methodology is applied and validated over an irrigated vineyard crop. The significance of the vineyard in Spain and other productivity areas is based in the increasing rate of the cultivate area and the rise of the quality production demand.

Multispectral images are integrated in a water balance model described in FAO-56 by means of the dual crop coefficient methodology that separates the evaporation and transpiration components. This integration is analyzed and discussed through the capability of vegetation indices, (VI), to derive a coefficient related to crop transpiration. Daily soil water balance allows, in addition, to model plant water stress.

The actual crop evapotranspiration was measured during a complete vine growing season by means of an eddy covariance flux tower; these field data are used to analyze the validity of the proposed model. Major differences between measured and modeled values were found in the days after irrigation and rain, when the soil evaporative component is relevant, nevertheless these differences open a new way for the improvement of the proposed model.

**Palabras Clave:** evapotranspiración, índices de vegetación, coeficiente de cultivos, viña.

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la demanda de agua de riego de la viña tiene importantes implicaciones puesto que es uno de los principales factores controlables que incide en la calidad de la uva, (Evans et al. 1993). Además, en zonas con escasez de agua los costes de la misma y la no

disponibilidad hacen del agua un recurso valioso y restringen su uso. Una metodología comúnmente aceptada para la estimación de los requerimientos hídricos del cultivo es el uso de la evapotranspiración de referencia,  $ET_0$ , y el coeficiente de cultivo,  $K_c$ , (Allen et al. 1998; Doorenbos and Pruitt 1977). Wright, (1982), propone calcular  $K_c$  como la suma de un coeficiente

de cultivo basal,  $K_{cb}$ , relativo a la transpiración de la planta, y un coeficiente de evaporación,  $K_e$ , ligado a la evaporación el suelo.

El uso de la teledetección en la estimación de las necesidades hídricas de los cultivos a través de la determinación del coeficiente de cultivo tiene un largo desarrollo, Bausch and Neale, (1987), y Neale et al., (1989), muestran la posibilidad de relacionar  $K_e$  en cultivos herbáceos con IV. Estas relaciones han sido ampliamente estudiadas, centrándose en cultivos herbáceos, (Er-Raki et al. 2007; González-Piqueras 2006; Jayanthi et al. 2007). Por otra parte, en la misma zona de estudio de este proyecto Montero et al., (1999), modela a través de IV algunos parámetros biofísicos de la viña relacionados con el coeficiente de cultivo como cobertura vegetal, índice de área foliar o biomasa.

Este trabajo propone la extensión de la relación entre IV y el coeficiente de cultivo a cultivos leñosos. Y expone que partir de una secuencia multitemporal de imágenes es posible describir la evolución del coeficiente de cultivo y calcular evapotranspiración. Los datos obtenidos por el modelo se comparan con los datos medidos en la viña mediante una estación de covarianza de torbellinos.

#### SITIO DE ESTUDIO

El área de estudio 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. Y la temperatura anual media en el mismo periodo es de 13.6° C. Los datos de campo se obtienen en una viña en regadío. El espaciado entre plantas es de 1.5 x 3 m. y las hileras están orientadas en dirección Norte- Sur. Los emisores de riego están distanciados 1 m. y se sitúan en una línea de riego bajo la vegetación. Las plantas se manejan mediante un sistema de espaldera. El manejo incluye además una poda durante el periodo vegetativo y otra poda directa o poda en verde en el inicio del desarrollo.

#### METODOLOGÍA

La metodología aquí propuesta se basa en la metodología del coeficiente dual de cultivo, Ecuación (1), descrita en el manual FAO-56 (Allen et al. 1998) que a su vez hace uso de un modelo monocapa de balance de agua en suelo.

La información contenida en la secuencia multitemporal de imágenes permite estimar la evapotranspiración del cultivo, ET. ET se modela

mediante la evapotranspiración de referencia,  $ET_0$  y un coeficiente de cultivo derivado de índices de vegetación,  $K_{cbrf}$  que se asimila al coeficiente de cultivo basal,  $K_{cb}$ . En el modelado de ET intervienen además un coeficiente de estrés hídrico que se deriva del modelo de balance de agua en suelo,  $K_s$ , y un coeficiente de evaporación,  $K_e$ , que se deriva de un balance paralelo en la zona del suelo donde se estima se produce este fenómeno, justamente en los 10 cm superficiales.

$$ET = ET_0 * (K_e + (K_{cb} * K_s)) \quad (1)$$

En este trabajo se propone el uso de una ecuación desarrollada para cultivos herbáceos (Bausch and Neale 1987) y adaptada para festuca como superficie de referencia, Ecuación (2).

$$K_{cbrf(festuca)} = 1,36 * NDVI - 0,06 \quad (2)$$

Los datos diarios de  $ET_0$  utilizados en este estudio son calculados a partir de los datos meteorológicos adquiridos en la parcela de estudio, excepto radiación neta y flujo de calor en el suelo que son modelados para una superficie de referencia.

#### MEDIDA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO

La evapotranspiración del cultivo fue medida mediante una torre de covarianza de torbellinos situada en el viñedo. Algunas correcciones a los datos de flujo originales son necesarias. Estas correcciones se realizan de acuerdo con el procedimiento descrito por Webb et al. (1980). Los datos así obtenidos son promediados para periodos de 24 h. Los flujos diarios de calor sensible, H, y de calor latente, LE, se corrigen en base al método conocido como "Bowen Ratio Closure", (Twine et al. 2000). Los valores diarios de LE una vez corregidos son transformados en mm/día para obtener el valor diario de evapotranspiración. El procesamiento de los datos y correcciones se describen en Balbontín et al. (2009).

#### REFLECTIVIDAD DE SUPERFICIE A PARTIR DE IMÁGENES DE SATÉLITE

Los índices de vegetación utilizados en el modelado de  $K_{cbrf}$  son obtenidos de 11 imágenes de satélite Landsat 5 de dos escenas distintas: Path-Row 199-33 y 200-33, puesto que la parcela de estudio se encuentra en la zona de superposición. La fecha de adquisición de las imágenes utilizadas se detalla en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Fecha de adquisición de las imágenes Landsat 5 utilizadas en el estudio.

Fecha	Escena	Fecha	Escena
7-5-07	200-033	26-7-07	200-033
1-6-07	199-033	4-8-07	199-033
24-6-07	200-033	27-8-07	200-033
3-7-07	199-033	5-9-07	199-033
10-7-07	200-033	28-9-07	200-033
19-7-07	199-033		

El procesamiento de las imágenes incluye su corrección geométrica y rectificación de los valores radiométricos, corrección radiométrica de las bandas del espectro solar (Chander et al. 2007) y corrección atmosférica de las mismas (Guanter et al. 2007). El índice de vegetación de diferencias normalizadas, NDVI (Rouse et al. 1973) fue calculado píxel a píxel y promediado para toda la parcela de estudio.

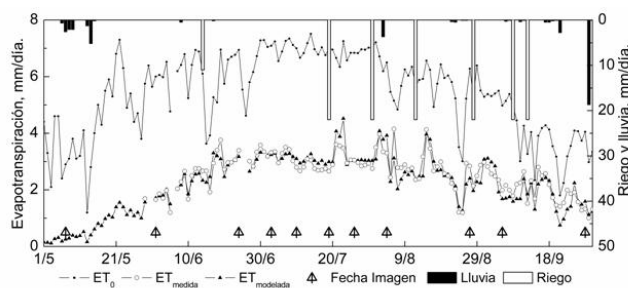
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de medida la evapotranspiración del viñedo registra un incremento durante el 1er mes de medida (Junio).

Este incremento se debe al desarrollo de la cubierta vegetal y al aumento de la demanda evaporativa de la atmósfera ( $ET_0$ ). Tras este

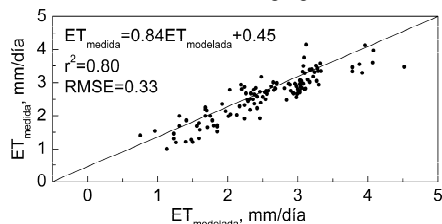
aumento inicial  $ET$  disminuye de forma constante a lo largo de la campaña de medida siguiendo la disminución de  $ET_0$ , Figura 1. Este descenso se produce sin cambios apreciables en la vegetación. Los riegos y precipitaciones ocurridas durante el periodo de medida incrementan el valor de  $ET$  debido al aumento de la componente evaporativa del suelo.

Los resultados obtenidos por el modelo propuesto reproducen los valores medidos de  $ET$ , así como la tendencia general durante la campaña y los incrementos posteriores a las lluvias y riegos, aunque es durante estos periodos cuando aparecen mayores diferencias entre los valores medidos y modelados. Estas discrepancias pueden deberse a la falta de precisión en el modelado de la evaporación desde el suelo, Figura 1. La evolución temporal de la  $ET$  medida muestra un periodo dilatado, desde 24 de Junio hasta 19 de Julio, durante el cual no se producen precipitaciones ni riego, y donde podemos asumir que la evaporación del suelo desnudo es despreciable. En esas circunstancias, y en ausencia de estrés hídrico, la  $ET$  modelada es simplemente el producto del  $K_{cbrf}$  multiplicado por la  $ET_0$ . El buen acuerdo entre la  $ET$  modelada de esta manera desde cuatro imágenes consecutivas y la  $ET$  medida es un indicador de la bondad del procedimiento para derivar el  $K_{cbrf}$  desde el IV de la imagen.



**Figura 1.** Evolución de  $ET_0$ ,  $ET$  medida y  $ET$  modelada durante la campaña experimental. En el eje secundario se presentan las lluvias y riegos.

La correlación entre valores medidos y modelados muestra una tendencia lineal cercana a la recta 1:1 (Figura 2). Este ajuste junto con el bajo error cuadrático medio obtenido,  $RMSE=0.33$  mm, indican la robustez del modelo propuesto.



**Figura 2.** Correlación entre los valores medidos y modelados de evapotranspiración del viñedo.

## CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

La metodología descrita permite estimar la evapotranspiración del viñedo a escala temporal diaria. Esto implica conocer las necesidades de riego del cultivo y permite adecuar el manejo del riego a los requerimientos de la plantas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 56*, FAO, Rome, Italy.
- Balbontín, C., Calera, A., González-Piqueras, J., Campos, I., López, M.L., Torres, E., Rubio, E., & Graf, A. 2009. Evaluación de la evapotranspiración de un viñedo en condiciones semi-áridas: comparación entre los sistemas Co-varianza de Torbellinos y Razón de Bowen-Balance de Energía. Trabajo en preparación.
- Bausch, W.C., & Neale, C.M.U. 1987. Crop coefficients derived from reflected canopy radiation - a concept. *Transactions of the ASAE*, 30, 703-709.
- Chander, G., Markham, B., & Barsi, J. 2007. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration. *IEEE Geoscience & R. S. Letters*, 4, 490-494.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements *Irrigation and Drainage Paper No. 24*, FAO, Rome, Italy.
- Er-Raki, S., Chehbouni, A., Guemouria, N., Duchemin, B., Ezzahar, J., & Hadria, R. 2007. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. *Agricultural Water Management*, Volume 87, Issue 1, 10 January 2007, Pages 41-54, 87, 41-54.
- Evans, R.G., Spayd, S.E., Wample, R.L., Kroeger, M.W., & Mahan, M.O. 1993. Water use of Vitis vinifera grapes in Washington. *Agricultural Water Management*, 23, 109-124.
- González-Piqueras, J. 2006. Crop Evapotranspiration by means of remote sensing determination of the crop coefficient. Regional Scale Application: 08-29 Mancha Oriental aquifer. In, *Facultat de Física: Universitat de València*
- 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
- Jayanthi, H., Neale, C.M.U., & Wright, J.L. 2007. Development and validation of canopy reflectance-based crop coefficient for potato. *Agricultural Water Management*, 88, 235-246.
- Montero, F.J., Meliá, J., Brasa, A., Segarra, D., Cuesta, A., & Lanjeri, S. 1999. Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain *Agricultural Water Management*, 40, 363-375
- 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
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Shell, J.A., Deering, D.W., & Harlan, J.C. 1973. Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. *NASA/GSFC, Greenbelt. USA, Final Report*.
- Twine, T.E., Kustasb, W.P., Normanc, J.M., Cookd, D.R., Housere, P.R., Meyersf, T.P., Pruegerg, J.H., Starksh, P.J., & Wesely, M.L. 2000. Correcting eddy-covariance flux underestimates over a grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 103, 229-317
- Webb, E.K., Pearman, G.I., & Leuning, R. 1980. Correction of Flux Measurements for Density Effects Due to Heat and Water-Vapor Transfer. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 106, 85-100
- Wright, J.L. 1982. New Evapotranspiration Crop Coefficients. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 108, 57-74.

## AGRADECIMIENTOS

Los trabajos han sido desarrollados gracias al proyecto PLEIADeS co-financiado por la EU (GOCE 037095) así como el proyecto EBHE (ref. CGL2008-04047), MITYC.