

## Seguimiento de la Evapotranspiración mediante los Coeficientes de Cultivo desde Teledetección. Aplicación a Maíz y Trigo.

José González Piqueras<sup>(1)</sup>, Eva Rubio<sup>(1)</sup>, Alfonso Calera<sup>(1)</sup>, Andrés Cuesta García<sup>(1)</sup>, Agueda Moratalla<sup>(1)</sup> y M. A. Gilabert<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Grupo de Teledetección y S.I.G. Instituto de Desarrollo Regional. Universidad de Castilla-La Mancha, Campus de Albacete, 02071 Albacete, Jose.Gonzalez@uclm.es.

<sup>(2)</sup>Departament de Termodinàmica, Facultat de Física, Universitat de València, Campus de Burjassot, 41600 Valencia, m.amparo.gilabert@uv.es .

### Resumen

Un método de gran aceptación para el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos es el denominado "en dos pasos" basado en los conceptos de coeficiente de cultivo y evapotranspiración de referencia. La relación del coeficiente de cultivo con las combinaciones de la reflectividad en las bandas del rojo e infrarrojo cercano, esto es los índices de vegetación, es un aspecto de gran interés pues permite extender el cálculo desde la escala de parcela a escala regional.

En este trabajo se estudia dicha relación mediante el análisis de datos experimentales de reflectividades obtenidas por radiometría de campo y valores de evapotranspiración determinados mediante una batería de lisímetros de pesada continua. Los resultados muestran claramente la relación existente para los cultivos regados de maíz y trigo, aunque los datos de  $K_c$  experimentales muestran una gran variabilidad, que se reduce promediando en valores de tiempo superiores al diario.

### 1. Introducción

El cálculo de la evapotranspiración, es un parámetro clave en los estudios de hidrología, agronomía y medioambiente, y por ello, existen varios métodos desarrollados para su cálculo [1]. El uso de teledetección permite extrapolar los resultados de estos métodos de escala local a escala regional. A nivel de campo, el método que permite medir de forma directa la evapotranspiración de la cubierta es a través de los lisímetros de pesada [1]. El lisímetro (del griego *lysis* disolver y *metron* medir) permite mediante balance hídrico en suelo, por diferencia de peso, obtener la componente de agua evapotranspirada. Dicho balance hídrico se puede escribir de la forma:

$$M_{i+1} = M_i + B_i + P_i + I_i - D_i - ET_i \quad (1)$$

Donde el subíndice  $i$  representa el día de estimación,  $M$  es el peso del lisímetro,  $P$  es la precipitación,  $B$  es la acumulación por biomasa de la cubierta,  $I$  es el aporte hídrico por riego,  $D$  es la pérdida por drenaje,  $ET$  es la pérdida de agua en el lisímetro por evapotranspiración. Durante el ciclo del cultivo, la  $ET$  parte de un mínimo aumentando hasta alcanzar su valor más alto cuando el cultivo presenta su cobertura vegetal verde máxima. Esta evapotranspiración dividida por la que tiene una cubierta de referencia, define la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ) [2]. El cociente entre ambas nos proporciona el coeficiente de cultivo [3]:

$$K_c = ET/ET_o = (T + E)/ET_o = K_{cb} + K_e \quad (2)$$

$E$  es la evaporación del suelo y  $T$  la transpiración de vegetación. El cociente entre la transpiración y la  $ET_o$  define el coeficiente de cultivo basal,  $K_{cb}$  y por otro lado este mismo cociente referido a la evaporación de suelo nos devuelve el coeficiente de evaporación de suelo  $K_e$ . La curva de  $K_{cb}$  tiene una evolución similar a la que muestran los índices de vegetación sobre el mismo ciclo de cultivo. Dicha similitud radica en la correspondencia de ambas magnitudes entre fases del cultivo, suelo desnudo, crecimiento, meseta y senescencia [4]. A escala temporal diaria se ha establecido esta relación lineal con la transpiración de la cubierta y por tanto con  $K_{cb}$  [5], pero no con la variabilidad en el término  $K_e$  por estar definidos con el objeto de normalizar el brillo y color de suelo, esta variabilidad tiene lugar durante el desarrollo de la cubierta vegetal, no siendo detectada por los diferentes índices de vegetación tradicionalmente utilizados. Se han estudiado estas relaciones controlando las condiciones de observación y para determinados tipos de cultivos [6]. El hecho de poder obtener el coeficiente de cultivo desde la reflectividad, permite estimar las necesidades hídricas del cultivo sin tener en cuenta el día de siembra, ni el punto de cubierta efectiva completa

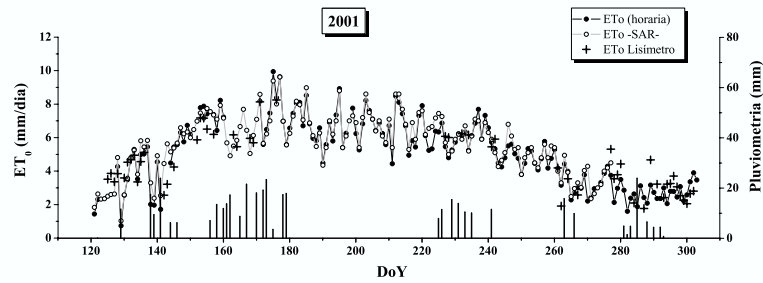


Figura 1.-Evolución de la  $ET_0$  calculada por los tres métodos indicados,  $ET_0$  Penmann Monteith del SAR (●), a escala horaria a partir de la estación Campbell (○), y en el lisímetro (+). En la misma figura se ha indicado con barras verticales cada riego registrado en el lisímetro de festuca (desde el DoY=190-222 se ha averiado el pluviómetro).

[6]. Un modo de relacionar el coeficiente de cultivo con el índice de vegetación es mediante valores promediados en el tiempo para reducir la variabilidad diaria en la evaporación de suelo. En este trabajo se estudian las relaciones sobre dos cultivos regados al dedicarse los lisímetros a la estimación de la evapotranspiración de referencia y a cultivos herbáceos de regadío.

## 2. Metodología.

Los datos obtenidos en el trabajo se han obtenido a través de dos campañas de campo llevadas a cabo en las instalaciones de Las Tiesas propiedad del Instituto Técnico Agronómico Provincial (ITAP), situada en el término municipal de Barrax (Albacete). Sus coordenadas medias son  $39^{\circ} 14' N$  y  $2^{\circ} 5' O$  con una altitud media de 695 m sobre el nivel del mar. La estación cuenta con tres lisímetros de pesada continua con lectura electrónica de datos, rodeado cada uno de ellos de una parcela de protección de forma cuadrada y de una hectárea de superficie. La parcela en su conjunto tiene una extensión de 10 ha, equipada con una instalación de riego por aspersión con cobertura fija. Un lisímetro se dedica al cultivo de herbáceos, el otro al cultivo de festuca (medida de  $ET_0$ ) y un tercero dedicado a cultivo leñoso (vid). Según FAO [2], los lisímetros de pesada continua son uno de los

instrumentos más precisos para la medida de la  $ET_0$ , por este motivo, tradicionalmente se han utilizado para evaluar y calibrar los distintos métodos de estimación de la  $ET$ . El principal inconveniente es su alto coste de mantenimiento, sometidos a continuas revisiones para que el cultivo sea representativo de la parcela que lo rodea, y por tanto la medida de  $ET$  también lo sea. Las perturbaciones que representan su calibrado y limpieza, así como los efectos provocados por los cultivos que lo rodean hacen que a la hora del análisis de los pesos sea necesario efectuar una depuración y control exhaustivo de los mismos.

### 2.1. Cálculo de $ET_0$ .

Para asegurar la calidad de las medidas, es muy importante mantener una consistencia y precisión en las medidas de la evapotranspiración de referencia. Con este objetivo se han calculado y comparado valores diarios de  $ET_0$  por tres vías: (1) utilizando la ecuación de Penmann-Monteith, (2) con el lisímetro de festuca, y (3) a partir de datos horarios proporcionados por una estación Campbell ubicada en las inmediaciones del lisímetro. En la figura 1 se han representado estos valores de  $ET_0$  para el periodo comprendido entre los días del año (DoY) 120 y 300 del 2001.

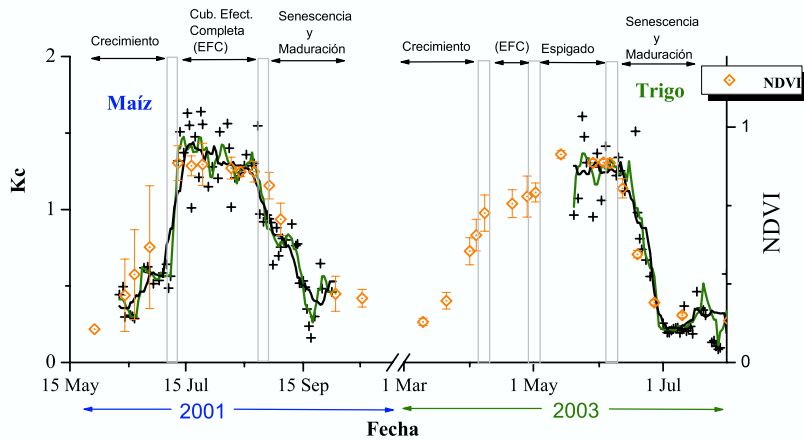


Figura 2. Representación de la evolución temporal del coeficiente de cultivo diario (+), semanal (---) y quincenal (---) para ambos cultivos maíz y trigo. En la misma figura está representado el NDVI (◇) para ambos ciclos.

### 2.2. Cálculo de la ET.

En el lisímetro de herbáceos se cultivaron maíz durante el año 2001 y trigo durante el año 2003. Para cada uno de estos ciclos se han calculado valores diarios de ET aplicando la ecuación 1. En el ciclo de trigo, sucesivas calibraciones de la célula de carga mostraron una descalibración durante la época de crecimiento del cultivo motivo por el cual los datos correspondientes a este periodo han sido descartados del análisis. Al inicio del cultivo, la ET es baja, aumentando durante el crecimiento, y alcanzando un máximo simultáneamente al máximo de cubierta vegetal, ya durante el periodo de reproducción, disminuyendo en la etapa final (senescencia) del cultivo

### 2.3. Medidas de Radiometría.

De forma simultánea a las medidas de evapotranspiración y sobre la cubierta del lisímetro se efectuó un seguimiento temporal de la reflectividad espectral de la cubierta utilizando un radiómetro GER 3700. A lo largo del ciclo completo de estos dos cultivos, reflectividades midió la evolución de sus respectivas firmas espectrales realizando barridos de 6 medidas con un campo de visión de 6,6° y a 5 m de altura sobre maíz y 2 m sobre trigo[7].

### 3. Resultados

A partir de la definición establecida sobre los coeficientes de cultivo en la ecuación 2 utilizando la

Cuadro 1: Valores del ajuste lineal del coeficiente de cultivo  $K_c$  a varias escalas temporales (semanal, quincenal y mensual) frente varios índices de vegetación seleccionados [5] ( $K_c = a+b \cdot VI$ ). Se ha representado el parámetro de corte en ordenadas, la pendiente y coeficiente de correlación ( $R^2$ ) de la forma: a...b... $R^2$ .

Índice	$K_c$ diario			$K_c$ 7 días			$K_c$ 15 días		
	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$	a	b	$R^2$
NDVI	0,15	1,22	0,83	-0,02	1,57	0,94	-0,03	1,54	0,96
SAVI	0,21	1,60	0,78	0,05	2,04	0,88	0,07	1,97	0,90
TSAVI	0,29	1,11	0,83	0,16	1,41	0,93	0,16	1,37	0,95
OSAVI	0,17	1,61	0,81	0,01	2,06	0,92	0,02	2,00	0,94
MSAVI	0,26	1,45	0,79	0,14	1,81	0,88	0,15	1,75	0,90
WDVI	0,35	2,07	0,73	0,25	2,63	0,83	0,24	2,62	0,87
PVI	0,37	3,31	0,74	0,27	4,22	0,83	0,24	2,62	0,87

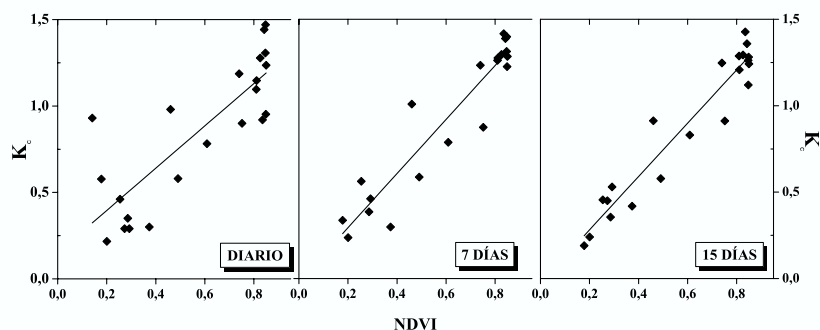


Figura 3. Representación del  $K_c$  para ambos cultivos frente a NDVI a tres escalas temporales, diaria, semanal y quincenal

$ET$  y  $ET_o$  se ha calculado el coeficiente de cultivo para maíz (2001) y trigo (2003). Los datos de  $K_c$  están representados en la figura 2 (- + -), de forma simultánea a los estados fenológicos de ambos cultivos, crecimiento, cubierta efectiva completa (EFC), maduración y senescencia. En la misma figura aparecen representados los valores promedio semanal, y quincenal de  $K_c$ . De forma simultánea se han representado los valores de NDVI en la misma figura. Se observa que el NDVI no muestra la variabilidad de los datos diarios de  $K_c$  por no ser sensible a la variación en la evaporación de suelo. No obstante, las curvas que representan los valores promedios, se ajustan mejor que los valores diarios con el índice de vegetación.

#### 4. Conclusiones

En la tabla 1 aparece representada la regresión de varios índices seleccionados frente al coeficiente de cultivo a diferentes escalas de trabajo, diaria, semanal y quincenal. Se aprecia que las escalas de trabajo semanal y quincenal, presentan mayor acuerdo en general con los índices seleccionados que a escala diaria, debido principalmente a la menor variabilidad por la evaporación de suelo y al reproducir de forma similar al NDVI los cambios de pendiente de  $K_c$  en coincidencia con los cambios de fase del cultivo. En la figura 3 se muestra las rectas de regresión  $K_c$  vs. NDVI.

#### 5. Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado por el Proyecto Europeo DEMETER "DEMonstration of Earth observation TEchnologies in Routine irrigation advisory services" EVG1-2002-CT-00078. Los autores agradecen la valiosa colaboración del ITAP,

y en su nombre a Prudencio López Fuster, Ramón López Urrea y a Amelia Montoro por el trabajo realizado en las instalaciones de lisimetría así como por las facilidades y acceso a los datos.

#### 6. Referencias

- [1] Rana G. and N. Katerji. "Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review". *European Journal of Agronomy*, 13:125-153, 2000.
- [2] Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. *Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage*, volume 56. Food and Agriculture Organization, 1998.
- [3] Wright, J. L.. "New evapotranspiration crop coefficients", *Journal of Irrigation and Drainage*, 108:57-74, 1982.
- [4] Heilman, "Evaluating the crop coefficient using spectral reflectance", *Agronomy Journal*, 74:967-971, 1982.
- [5] González-Piqueras, J., A. Calera, and M. A. Gilabert, "Estimation of crop coefficients by means of optimized vegetation indices for corn", In *Proceedings of SPIE*, Barcelona, September 2003. SPIE.
- [6] Bausch, W. C., "Soil background effects on reflectance-based crop coefficients for corn", *Remote Sensing of Environment*, 46:213-222, 1993.
- [7] Calera, A., J. González-Piqueras, and J. Meliá, "Monitoring barley and corn growth from remote sensing data at field scale". *International Journal of Remote Sensing*, 25(1):97-109, 2000.