

Secuencia multitemporal de imágenes en la estimación de la distribución espacial de la evapotranspiración real a escala regional. El modelo MORE.

Rubio, Eva¹^a; Torres, Enrique A.^a; Denia, Jesús^a; González-Piqueras, José^a; Calera, Alfonso^a

Universidad de Castilla La Mancha, Instituto de Desarrollo Regional, sección de Teledetección y SIG, Campus universitario s/n 02071 Albacete España.

RESUMEN

El modelo MORE (Modelo Operativo de estimación de Recarga y Evapotranspiración), que aquí se presenta, es un modelo que estima evapotranspiración real y recarga a escala diaria mediante un balance de agua aplicando la metodología propuesta en FAO56, [coeficiente de cultivo- Evapotranspiración de referencia, kc-ET_o]. Para ello se utiliza el coeficiente de cultivo dual y se extiende no sólo a cultivos en regadío sino también a cultivos de secano, vegetación natural y suelo desnudo. Uno de los inputs básicos para la caracterización de la dinámica de las cubiertas es la información derivada de una secuencia multitemporal de imágenes multiespectrales de elevada resolución espacial. Esta secuencia de imágenes permite modelizar la evolución del coeficiente de cultivo basal a lo largo de un ciclo hidrológico anual, a una resolución espacial de aproximadamente 1 ha. El modelo MORE, cuyas hipótesis básicas han sido validadas, se ha implementado en ANSI C en una aplicación informática estable denominada HidroMORE®. Ha sido aplicado en una zona semiárida de 10.000 km² de extensión y a lo largo de varios ciclos anuales.

Palabras claves: Evapotranspiración, Secuencia multitemporal, Coeficiente de cultivo.

ABSTRACT

Here the model called MORE (Operative model for estimating recharge and evapotranspiration) is presented. This is a water balance model that implements the dual crop coefficient approach by FAO56 for not only irrigated surfaces but also dry crops, natural vegetation and bare soil. Basic model outputs are, between other, distributed real evapotranspiration, water stress and recharge. A basic input for characterizing the state and dynamics of vegetation is the information from multi-temporal image sequence of high spatial resolution. The image sequence is used to modelling the evolution of the basal crop coefficient along a annual hydrological cycle and at a spatial resolution of about 1 ha. The model MORE, which basic hypotheses are already validated, has been implemented on ANSI C on a stable computer version named HidroMORE®. It was applied over a semi-arid study area of 10.000 Km² and for several annual hydrological cycles.

Keywords: Evapotranspiration, Multi-temporal series, Crop coefficient

Introducción

Existen numerosos antecedentes de la utilización de modelos paramétricos distribuidos para la modelización hidrológica en la evalua

ción de recursos hídricos a nivel de cuenca hidrográfica que, sin embargo, no tratan el tema de la evapotranspiración con el detalle y la precisión requeridos. Asimismo, existen un gran número de modelos de cálculo de la evapotrans-

¹ Eva María Rubio: Te: +34 967 599200 ext 2636 Fax: +34 967 599233

Correo electrónico: evamaria.rubio@uclm.es

Copyright: Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

piración, para la cuantificación de los requerimientos hídricos de los cultivos, definidos con carácter local a la escala de parcela.

Evapotranspiración y recarga son procesos acoplados entre sí mediante la capa de suelo y vegetación y forman parte esencial del denominado continuo agua-suelo-planta-atmósfera. La estimación de la evapotranspiración ha sido objeto de atención creciente desde hace algunas décadas lo que ha dado lugar al desarrollo de un gran número de ecuaciones. En la actualidad una de las formulaciones más ampliamente aceptada y utilizada es la denominada ecuación Penman-Monteith, derivada inicialmente por Penman (1948). La aplicación operativa de la ecuación de Penman-Monteith ha requerido de un largo proceso en el que se ha asentado firmemente el concepto de evapotranspiración de referencia o potencial, ET_0 , (Doorembos y Pruitt, 1977) (Jensen et al. 1990). En dicho trabajo se presenta por primera vez la aproximación denominada "Kc- ET_0 ". Donde Kc es el coeficiente de cultivo, que reúne en un solo parámetro las diferencias de la evapotranspiración de un cultivo respecto a la de la superficie de referencia, para un suministro óptimo de agua. La reformulación y actualización de la aproximación "Kc- ET_0 " introduciendo el concepto de coeficiente dual ha sido realizada por Allen et al, (1998).

Esta metodología de cálculo se ha ampliado para el caso de suelo desnudo y cubiertas vegetales fuera de condiciones óptimas, esto es, bajo estrés hídrico. Para ello se introduce el coeficiente de estrés hídrico, Ks, función del contenido de agua en el suelo que exploran las raíces de la vegetación (Allen et al, 1998). La estimación de Ks, requiere de la realización de un balance hídrico en la capa de suelo. Ahora bien, incluso el balance hídrico más sencillo (modelo de vaso de una sola capa) requiere como entradas capas que varían espacial y temporalmente, como: el agua disponible en suelo del día anterior, la infiltración, la evapotranspiración o la capacidad de campo.

El modelo MORE (Modelo Operativo de estimación de Recarga y Evapotranspiración) se ha concebido como herramienta que permita aplicar la metodología "Kc- ET_0 " en grandes áreas, integrando para ello información derivada de satélite. Este modelo permite estimar evapotranspiración, recarga y contenido de humedad en el suelo sobre áreas extensas tales como un acuífero, subcuenca hidrográfica, cuenca hidrográfica, etc. a escala temporal diaria y con una resolución espacial adecuada a la correspondiente del sensor espacial utilizado, típicamen-

te 1 ha para Landsat-TM. Con este propósito, en este trabajo se plantean los siguientes objetivos concretos:

- Demostrar el potencial de utilizar la información sobre la cubierta que aportan sensores remotos a bordo de satélite en la obtención del coeficiente de cultivo basal.
- Probar que la extensión de la metodología Kc- ET_0 a distintas cubiertas como vegetación natural y suelo y en condiciones de estrés hídrico, presenta la suficiente precisión para ser aplicada de forma operativa.
- Adaptar un modelo puntual como el propuesto en FAO 56 a un cálculo distribuido.
- Mostrar los primeros resultados de aplicación al acuífero La Mancha Oriental (08-29), una extensa zona de 10.000 km², de clima semiárido.

El modelo MORE

MORE está basado en la ecuación de balance hídrico (ecuación 1). Éste proporciona estimaciones diarias de recarga directa (percolación profunda) DP, almacenamiento de agua SS y evapotranspiración ET, después de calcular la precipitación efectiva (infiltración) IN, y la escorrentía superficial RO, a partir de la precipitación R, y el riego I, según:

$$R + I - RO - ET - DP = \Delta SS \quad (1)$$

donde ΔSS es el cambio en el contenido de humedad del suelo o almacenamiento de agua.

La estimación de la recarga de un acuífero de forma espacialmente distribuida se logra mediante la representación del área del acuífero como una malla de puntos en donde cada punto define un área en particular. Así, el suelo es modelado como una única capa de profundidad variable, en donde SS se obtiene según (1). Cuando el área es de vegetación, la profundidad de suelo es variable y asumida como la profundidad de raíces de la vegetación

en la cual las raíces pueden reducir el contenido de agua. Mientras que para suelo desnudo, esta profundidad corresponde a la capa superficial de suelo que se ve afectada por la evaporación. MORE realiza el cálculo de un balance hídrico para cada celda individualmente considerando las propiedades y condiciones iniciales del sistema suelo-vegetación-atmósfera en cada celda y su correspondiente evolución en el tiempo.

MORE realiza una estimación detallada de la evapotranspiración basada en la metodología

del coeficiente dual de FAO 56. Así la formulación básica utilizada es la siguiente:

$$ET = [K_s(K_{cb} + K_e)] \cdot ET_0 \quad (2)$$

$$K_e = K_r(K_{cmax} - K_{cb}) \quad (3)$$

donde K_{cb} es el coeficiente de cultivo basal, K_e es el coeficiente de evaporación del suelo desnudo, K_r es el factor de reducción de evaporación y K_{cmax} es el valor máximo de K_c para una demanda atmosférica dada. ET se calcula de acuerdo con la demanda evaporativa y el contenido de agua en el suelo (SS). Si SS no es el factor limitante, entonces MORE calcula la máxima tasa de ET , siendo K_s y $K_r = 1$. Por el contrario si SS es el factor limitante, K_s y $K_r < 1$ y se estiman a partir del contenido de agua en el suelo, teniendo en cuenta la fracción cubierta por vegetación y la fracción en suelo desnudo respectivamente, siguiendo estrictamente la metodología descrita por Allen et al., (1998).

Características del modelo

Una de las características más destacables de MORE es la flexibilidad del programa en cuanto al tipo de datos de entrada. Así el programa está inicialmente pensado para incorporar el potencial de las imágenes de Observación Terrestre (OT) en la descripción de distintos parámetros biofísicos de la vegetación, la inventariación de la zona de estudio o el cálculo de la evolución temporal del K_{cb} en cada píxel de la zona. En concreto, para el cálculo de K_{cb} se propone utilizar una relación lineal entre éste y el índice de vegetación denominado NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) tal y como ha sido sugerida reiteradamente (Heilman et al., 1982; Bausch and Neale, 1987; Bausch, 1993; Jayanthi et al, 2000) (Gonzalez-Piqueras, 2006). El cálculo diario de K_{cb} requiere disponer de una serie multitemporal de imágenes de NDVI que cubra adecuadamente el periodo y la zona de estudio. La serie multitemporal de imágenes de NDVI correspondiente a una año se trata como un cubo de información (véanse Fig 1 y 2) donde, fijada la posición espacial (x, y), la lectura en el eje de las z nos proporciona la evolución temporal del NDVI del píxel (x, y) en determinadas fechas. El siguiente paso es la interpolación suave de estos valores para obtener una curva de valores diarios de NDVI. Esta curva "continua" de NDVI es entonces utilizada en conjunción con una imagen de usos de suelo para obtener entre otros el valor de K_{cb} o la

fracción de cobertura verde, F_{cv} , a escala diaria y para cada píxel. Tal y como se explica más adelante, en caso de no disponer de una serie temporal de imágenes de NDVI, los datos necesarios se obtendrán de tablas de entrada de K_{cb} , altura del cultivo o F_{cv} .

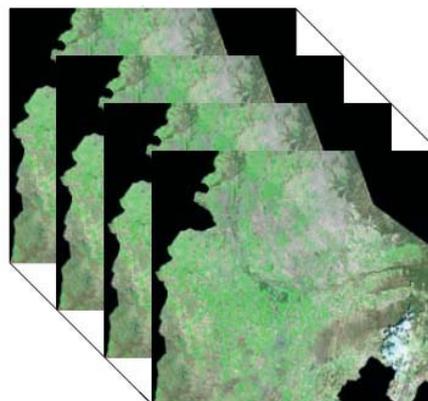


Fig. 1. Cubo de imágenes de NDVI.

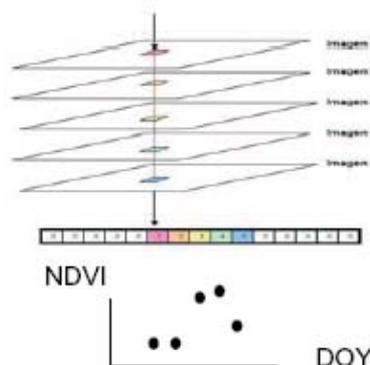


Fig. 2. Esquema del proceso de lectura del cubo de imágenes de NDVI para un píxel dado.

La aplicación HidroMORE@ 1.0

El modelo MORE se ha implementado en la aplicación informática HidroMORE@ 1.0. Se halla estructurada en dos partes: Una interfaz de usuario realizada en Visual Basic, a través de la cual el usuario introduce todos los parámetros necesarios para correr la aplicación; y un motor interno realizado en ANSI C, que es el encargado de realiza todos los cálculos hidrológicos de MORE. La Figura 3 muestra el aspecto de la interfaz de usuario.



Fig. 4. Interfaz de usuario de MORE 1.0 donde se muestran las opciones de las imágenes y ficheros de salida.

Entradas y salidas de MORE 1.0 ®

MORE ha sido concebido para poder trabajar a distintos niveles de precisión en función de la calidad de la información disponible sobre la zona de estudio. Esta flexibilidad también se contempla en las salidas al permitir tanto resultados integrados en el tiempo, como detallados a escala diaria y para las variables que el usuario seleccione. La Figura 3 muestra algunas de estas opciones. A continuación se describen de forma somera las entradas y salidas más destacables de la aplicación.

Entradas mínimas

- Mapa de **usos de suelo**
- Tabla con datos puntuales de **precipitación diaria** de las estaciones pluviométricas en la zona de estudio. Esta tabla con información mínima de las estaciones se usará para la generación diaria de mapas de precipitación.
- Tabla con datos puntuales de **ET₀ FAO56-Penman-Monteith** diaria de todas las estaciones que contengan este registro. Esta tabla se usará para la interpolación diaria de la ET₀. Si no se tienen estaciones con dato de ET₀ y no se puede conseguir esta tabla, se usarán las estaciones con datos de temperatura, para calcular la ET₀ mediante el método de Hargreaves.
- Serie multitemporal de imágenes de NDVI. Éstas se utilizan para describir la evolución fe-

nológica de las superficies vegetales a través de parámetros biofísicos como el coeficiente de cultivo basal (Kcb), pero también la fracción de cubierta verde (Fcv), la altura del cultivo y la profundidad de raíz. Para ello se utilizan relaciones dependientes del uso de suelo. Cuando no se dispone de estas imágenes se pueden utilizar tablas que contienen estos parámetros para cada uso de suelo y día del año, en función de información auxiliar preexistente sobre los cultivos y vegetación natural presentes en la zona de estudio.

- Mapa de suelos, que permite utilizar información específica de los suelos en la zona, principalmente textura y profundidad. Se acompaña de una tabla con propiedades hidráulicas para cada uno de los tipos de suelo. Entre éstas se encuentran: el grupo hidrológico en el cálculo del número de curva, el agua rápidamente aprovechable (REW); la profundidad máxima del suelo; la profundidad de suelo que evapora, el punto de marchitez, la capacidad de campo, la conductividad hidráulica saturada, el punto de saturación, o la densidad aparente de cada suelo.

- Tabla con valores máximos y mínimos de diferentes parámetros de la vegetación para cada uso de suelo, y con relaciones Kcb - NDVI específicas para cada uso de suelo

- Tabla con información de las fechas y características de los riegos aplicados en los diferentes cultivos de regadío.

La flexibilidad en los datos de entrada significa que si no se dispone de información en forma de mapas, se puede reemplazar por datos representativos en forma de tablas. Todas las tablas están en formato dbf.

Salidas

Las salidas que proporciona la aplicación pueden ser en forma de mapa y/o fichero de texto, y contener desde valores integrados (acumulados) en el tiempo como diarios y para cada píxel. Típicamente los intervalos temporales en que se almacenan los datos,

son la semana el mes y el año. Entre las variables que se pueden almacenar se encuentran:

- Evapotranspiración de la cubierta en condiciones óptimas ETc
- Precipitación
- Percolación profunda
- Escorrentía
- Riego aplicado
- Evapotranspiración real
- Estrés hídrico
- Humedad en la zona de raíces

Zona de estudio

Para la puesta a punto y validación general de MORE se ha utilizado la zona piloto que configura el sistema acuífero denominado Mancha Oriental 08-29. Ésta se halla recorrida por el río Júcar y se extiende sobre una amplia área de cerca de 10.000 km² de superficie, ocupando el Sur de la provincia de Cuenca y prácticamente toda la provincia de Albacete. El clima mediterráneo semiárido y la heterogeneidad de cultivos y cubiertas vegetales existentes la convierten en un área de estudio altamente representativa de zonas semiáridas. Este acuífero, como otros muchos de nuestra península y del planeta, se encuentra amenazado por la sobreexplotación de sus recursos, lo que se ha traducido en un descenso continuado de sus niveles piezométricos. Sobre él se dispone de una importante descripción científica acumulada en la última década y en especial en los últimos cinco años, a través de proyectos de investigación europeos y nacionales (Calera et al, 1999; Martín de SantaOlalla et al, 2002).

Resultados

Las hipótesis y ecuaciones básicas de MORE fueron evaluadas a escala local con dos experimentos realizados, respectivamente, sobre una parcela de festuca en condiciones óptimas y sobre una parcela de suelo desnudo.

La primera de las experiencias tuvo lugar durante los meses de junio y julio de 2003 en una parcela de festuca en la cual se disponía de un lisímetro de pesada. Las estimaciones de ET calculadas con MORE fueron comparadas con las mediciones del lisímetro. Los detalles de esta validación se encuentran en Rubio et al. (2004). A escala diaria y para el periodo de dos meses, MORE predijo "SS con un error promedio inferior a 3 mm y una desviación inferior a 0.25 mm. Al tratarse de un periodo de alta demanda evaporativa la festuca experimentó situaciones puntuales de estrés hídrico que MORE fue capaz de reproducir con suficiente precisión. El estudio reveló la sensibilidad del modelo a determinados parámetros de entrada como la profundidad del suelo y la importancia de estimar correctamente la infiltración a partir del riego o la precipitación.

La segunda de las experiencias tuvo lugar durante los meses de junio y julio de 2006 sobre una parcela de suelo desnudo en la que se instaló una estación Bowen y un equipo para medir la evaporación del suelo y la humedad del suelo. Los detalles de esta experiencia se presentan en Torres et al. (2006, 2007). En este

trabajo se comprueba la validez del modelo de evaporación en suelo desnudo de FAO 56 (Allen et al., 1998) con las medidas de la estación Bowen y se compara con el funcionamiento del modelo Hydrus 1d, que utiliza la ecuación de Richards.

Aplicación a escala regional

De forma operativa y a escala regional, el modelo MORE fue aplicado a la zona completa del acuífero 08-29 para calcular la evapotranspiración y recarga del acuífero. Como parte del desarrollo de MORE se han obtenido los siguientes resultados intermedios: (1) Utilizando datos experimentales, de NDVI y del coeficiente del cultivo, se han validado los valores de coeficiente del cultivo que se obtiene de las imágenes de satélite según metodología Kc-NDVI (Cuesta et al., 2004) (González-Piqueras, 2006) (2) Se han calculado mapas diarios de ET₀, (3) mapas diarios de precipitaciones para el periodo 2000-2002. Además, (4) se ha inventariado las cubiertas vegetales mediante teledetección (Calera et al., 2002)

El estudio se centró en el periodo 2000-2002, pero se prevé extenderlo hasta la actualidad. Para su aplicación se utilizó una serie temporal de imágenes Landsat TM y ETM+ compuesta por más de 30 imágenes (unas 10 por año). Estas imágenes fueron utilizadas para generar las imágenes de usos de suelo de cada año a partir de una clasificación multitemporal e información adicional. La Fig. 4 muestra un detalle de esta imagen con los usos de suelo en 2002.

Otra de las capas de entrada que se utilizó es un mapa de tipos de suelo (Fig. 5) al que se asoció los parámetros hidráulicos de cada uno de los tipos de suelo presentes en la zona.

Para la generación de las imágenes diarias de P y ET₀, se contó con datos de precipitación y de temperatura de las más de 200 estaciones meteorológicas que posee el INM en la zona del acuífero. También en la zona se utilizaron

los valores de ET₀(Penman-Monteith) que proporcionan las 13 agroestaciones que posee Servicio Integrado de Asesoramiento al Regante (SIAR) en esta zona.

Análogamente se ha simulado el comportamiento de un píxel de suelo desnudo y de un píxel con vegetación forestal perenne, y se ha supuesto la misma distribución de precipitaciones (Fig. 10, 11 y 12).

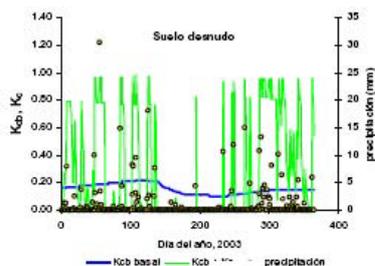


Fig. 10. Curvas de Kcb y Kc calculadas con MORE para un suelo desnudo.

Así, para el suelo desnudo considerado, la evaporación anual del suelo ha resultado ser de 198 mm para el año 2002, mientras que la recarga, tras eventos importantes de lluvia, se incrementa hasta 106 mm. Por último, para el píxel de vegetación forestal, ET se estima en 454 mm, mientras que la recarga en este tipo de formación y para las condiciones simuladas es nula.

Conclusiones

El modelo MORE integra información de la cubierta vegetal derivada de una secuencia multitemporal de imágenes de satélite de alta resolución espacial con el modelo de balance hídrico para estimar evapotranspiración real y recarga en grandes áreas. Estos y otros parámetros como estrés hídrico son estimados de forma espacialmente distribuida, con una resolución espacial típica de 1 ha, y una escala de tiempo diaria. El modelo ha sido validado a escala puntual para dos tipos de cubierta distinta (vegetación verde de cobertura completa y suelo desnudo). Para ello se han utilizado, respectivamente, medidas de lisímetro de pesada y de un sistema Bowen.

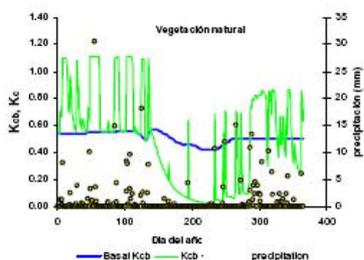


Fig. 11. Curvas de Kcb y Kc calculadas con MORE para vegetación natural.

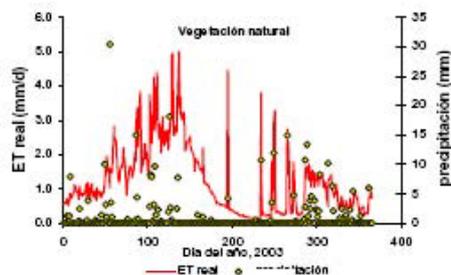


Fig. 12. Evapotranspiración real simulada por MORE para vegetación natural.

Un aspecto principal de MORE es su carácter operacional el cual permite la aplicación con pocos datos de entrada, los cuales pueden ser generados a partir de observaciones con sensores remotos o medidos directamente por estaciones agrometeorológicas, reduciendo la necesidad de ajustes o calibraciones. Otro aspecto relevante de MORE es la capacidad de detectar estrés hídrico en vegetación gracias al balance hídrico aplicado por el modelo.

En cuanto a la extensión a escala regional de la estimación de la evapotranspiración y la recarga, el modelo ha sido aplicado a la zona completa del acuífero La Mancha Oriental 08-29 en el periodo 2000-2002, lo que nos ha permitido disponer de grandes cifras en cuanto a la evapotranspiración real y la potencial recarga del acuífero, estas cifras adquieren una relevancia especial como datos de entrada en modelos hidrogeológicos. Pero además, en estos casos, la componente espacial es fundamental para obtener resultados precisos. Asimismo, este tipo de resultados nos permite indagar en la dinámica superficial de este acuífero y comprender el papel que juegan superficies tan poco estudiadas como la vegetación natural o el suelo desnudo.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el MCYT a través del proyecto MORE (Ref: REN2003-02956). El trabajo de E. A. Torres ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). Asimismo agradecemos la colaboración prestada por el Instituto Técnico Agronómico de Albacete, ITAP, y el Centro Regional de Estudios del Agua, CREA, de la Universidad de Castilla La Mancha.

Referencias

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D., Smith, M., 1998, Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper 56. FAO. Roma.
- Bausch, W., 1994, Remote Sensing of Crop Coefficients for Improving the Irrigation Scheduling of Corn, Agricultural Water Management, 27 pp.55-68.
- Bausch, W., and. Neale, C. M.U. 1987, Crop Coefficients Derived From Reflected Canopy Radiation: A Concept. Transactions of the ASAE, 30(3):703-709.
- Calera, A., Castaño, S.; Quintanilla, A: 2002. Evolución de Superficies en Regadío en la Mancha Oriental mediante Teledetección, ERMOT. Informe Interno pp 80.. Confederación Hidrográfica del Júcar; Junta Central de Regantes de la Mancha Oriental y Junta de Comunidades de Castilla La Mancha
- Cuesta, A.; Montoro, A.; Jochum, A.M.; López, P.; Calera, A. 2005. Metodología operativa para la obtención del coeficiente de cultivo desde imágenes de satélite. ITEA. Vol. 101, 3 212-224
- Calera Belmonte, A.; Medrano González, J.; Vela Mayorga, A. & Castaño Fernández, S. (1999). GIS tools applied to the sustainable management of water resources. Application to the aquifer system 08-29. Agricultural Water Management, 40, 207-220
- Dorenboos, J., Pruiitt, W. O., 1977, Las necesidades de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje N° 24. FAO.
- Gonzalez-Piqueras, J., 2006 Evapotranspiración de la Cubierta Vegetal mediante la Determinación del Coeficiente de Cultivo por Teledetección. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia
- Heilman, J.L., Heilman, W. E., and Moore, D.G., 1982, Evaluating the Crop Coefficient Using Spectral Reflectance, Agr. Journal, 74: 967-791.
- Jayanthy, H.; Neale, C.M.U. y Wright, J.L. (2000). Seasonal evapotranspiration estimation using canopy reflectance: a case study involving pink beans. In Owe et al (Eds), Remote Sensing and Hidrology 2000. IAHS, 267; pp 302-305.
- Jensen, M., Burman, R.D.; Allen, R.G.(Ed.) 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE, N° 70; pp. 332
- Martín de Santa Olalla, F. Calera Belmonte, A.; Domínguez A.;(2003) Monitoring irrigation water use by combining Irrigation Advisory Service, and remotely sensed data with a geographic information system. Agricultural Water Management , 61, 111-124.
- Mejuto, M.F., Rubio, E., Calera, A., Vela, A., Castaño, S., 2003, "Operational modelling of direct recharge (for regional scales)", VI Inter-Regional Conference on Environment-Water land and Water Use planning and Management, Albacete, 3-5 septiembre.
- Penman, H.L., 1948, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London, A193, 120-146
- E. Rubio, M. Mejuto, A. Calera, A. Vela, S. Castaño, A. Moratalla, 2004, Validation of an Operational Modeling of Direct Recharge, Intern. Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology V, Proceedings of SPIE, 351-359.
- Torres, E. A.; Huisman, J.A.; Rubio, E. and Calera A., 2007, Vertical soil water fluxes under high evaporative demand in south east Spain. En: EGU, Geophys. Research Abstracts, (pendiente de publicación).
- Torres, E.A.; Rubio, E.; Calera, A.; Cuesta, A., 2006, Evaluation of FAO 56 model for bare soil evaporation in a semi-arid regions using experimental data. En: EGU, Geophys. Research Abstracts, Volume 8, 2006. ISSN: 1029-7006.