

[TECNOLOGÍA]

Empleo de técnicas de teledetección para la mejora de la gestión del regadío

Ignacio J. Lorite Torres

Cristina Santos Rufo

Pedro Gavilán Zafra

IFAPA – “Alameda del Obispo”
Consejería de Innovación, Ciencia
y Empresa. Junta de Andalucía

Masahiro Tasumi

Universidad de Miyazaki (Japón)

Richard G. Allen

Universidad de Idaho (EEUU)

Elías Fereres Castiel

Universidad de Córdoba y Consejo
Superior de Investigaciones
Científicas (CSIC – IAS)

La agricultura de regadío consume aproximadamente el 70% de los recursos hídricos disponibles, mientras que el resto se reparte entre los sectores industrial, urbano y medio ambiental. Es por ello que la competencia por los recursos de los que hasta la fecha disfruta la agricultura, aumentará de forma significativa en los próximos años, y por tanto será necesario realizar una gestión más eficiente de los mismos para asegurar la sostenibilidad de este tipo de agricultura.

Además, periodos de sequía como el actual hacen que el manejo del riego de manera racional sea cada día más imprescindible, y así, la campaña de riegos 2004/05 fue una de las más secas en la historia reciente, continuando la situación de escasez en las campañas 2005/06 y 2006/07, con importantes restricciones en el suministro.

La modernización de la agricultura de regadío no se reduce únicamente a la introducción de nuevas infraestructuras o modernos sistemas de riego, sino también a desarrollar herramientas de gestión que permitan mejorar la eficiencia y el manejo del agua de riego. Esta necesidad de nuevas herramientas ha hecho que en los últi-

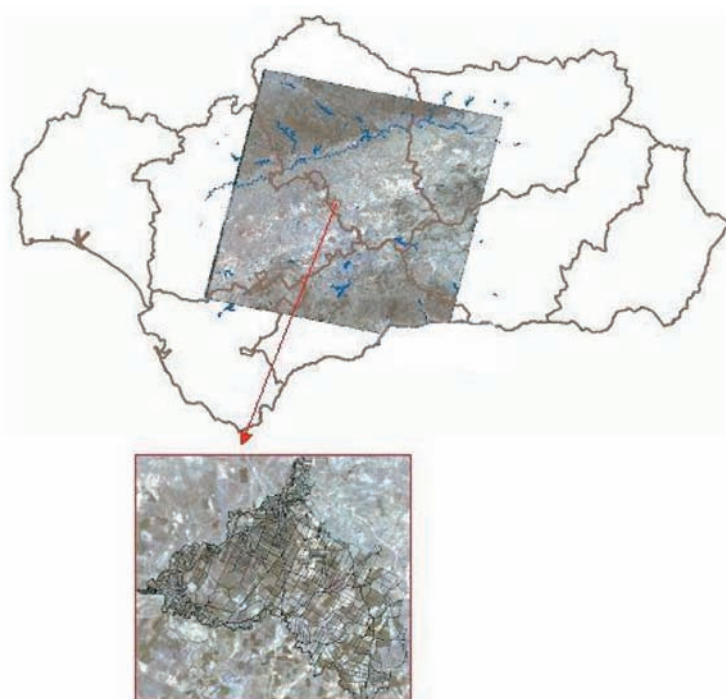
mos años algunas técnicas aplicadas con éxito en otros sectores se estén aplicando para la mejora de la gestión del riego. Así, los Sistemas de Información Geográfica, los modelos de simulación y la teledetección han supuesto un avance muy importante para el estudio y mejora de la gestión del riego, tanto a nivel de parcela como de zona regable.

[Metodología]

La teledetección proporciona información sobre importantes variables que caracterizan la superficie terrestre y los procesos que sobre ella ocurren. Sus datos, espacialmente distribuidos, proporcionan información de

Figura 1:

Área de estudio del trabajo, enmarcada en el Valle Medio del Guadalquivir



Zona Regable del Genil-Cabra (Colectividad de regantes de Santaella)

grandes zonas apoyándose en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y en información meteorológica. Por otro lado, los modelos de simulación como LORMOD (Lorite et al., 2004a,b) permiten estudiar y cuantificar todos los procesos que definen el funcionamiento y comportamiento de una zona regable (balance de agua en el suelo, distribución del agua por la red de distribución, crecimiento y desarrollo de los cultivos, efectos del estrés sobre el rendimiento, estrategias de riego, etc.) y constituyen una herramienta imprescindible para la evaluación de las prácticas de riego, permitiendo determinar las necesidades actuales y futuras de la zona regable.

El empleo de técnicas de teledetección se basa en el empleo de imágenes procedentes de satélites de observación de la superficie terrestre como Landsat, MODIS o ASTER, siendo el más frecuentemente usado el Landsat 5 TM. Con estas imágenes el modelo METRIC, desarrollado en la Universidad de Idaho en EEUU (Allen et al., 2007a) y basado en el modelo SEBAL (Bastiaanssen et al., 1998), proporciona excelentes resultados en diferentes zonas regables (Allen et al., 2007b) estimando de forma precisa la evapotranspiración real de los cultivos, y ha sido empleado en este trabajo tras su adaptación a las condiciones del Valle del Guadalquivir.

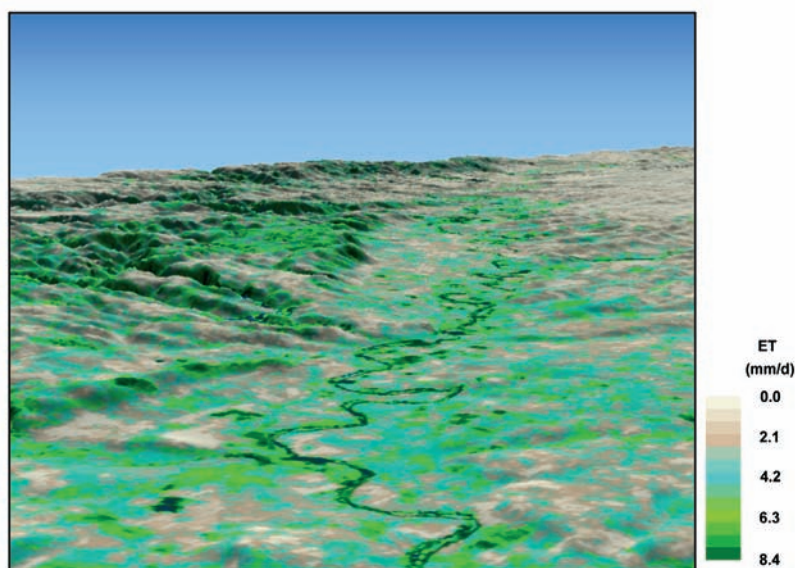
El área de estudio se centró principalmente en la Zona Regable del Genil – Cabra (Córdoba) debido a la existencia de información precisa sobre consumos en parcela, cultivos y prácticas de manejo del riego. Sin embargo, dadas las características del modelo METRIC y de la información proporcionada por el satélite Landsat 5 TM, el área analizada abarca todo el Valle Medio del Río Guadalquivir, como se puede comprobar en la **Figura 1**.

Aplicaciones de la teledetección a la agricultura de regadío

a. Determinación de la evapotranspiración de los cultivos

El uso más frecuente de la teledetección en los sistemas agrícolas de regadío es la estimación de la evapotranspiración (ET) real de los cultivos. Esta

Figura 2: Mapa de evapotranspiración diaria (8 de Mayo de 2005) para el Valle Medio del Guadalquivir



estimación precisa de la ET permite la realización de múltiples aplicaciones, como su inclusión en balances de agua para la generación de calendarios de riego, análisis de variabilidad espacial, identificación de situaciones de estrés, etc.

El modelo METRIC ha sido aplicado a las once imágenes Landsat TM disponibles durante la campaña 2004/05. Los resultados de su primera aplicación completa en España muestran una excelente estimación de la ET espacial y temporal, según la validación llevada a cabo en diversas parcelas del Valle del Guadalquivir.

Como se puede comprobar en las **Figuras 1 y 2**, la superficie incluida en una imagen del satélite Landsat 5 TM es muy grande (aproximadamente 180 kilómetros de lado), lo que permite realizar con una única ejecución del modelo, incluso estudios a nivel de cuenca. Así, en la **Figura 2** se muestra un mapa de evapotranspiración real en tres dimensiones de la cuenca del Guadalquivir. Con estas herramientas

la realización de análisis espaciales se convierte en una tarea fácil y permite de una forma didáctica ilustrar la variabilidad en el manejo del riego y enseñar a los agricultores las posibilidades que las nuevas tecnologías proporcionan para la realización de calendarios de riego precisos y adaptados a las condiciones locales de cada explotación. Así, se muestran clara-

Figura 3: Evapotranspiración estacional en la Zona Regable del Genil – Cabra (Colectividad de Santaella), correspondiente al periodo de Marzo a Septiembre de 2005 para el Valle Medio del Guadalquivir

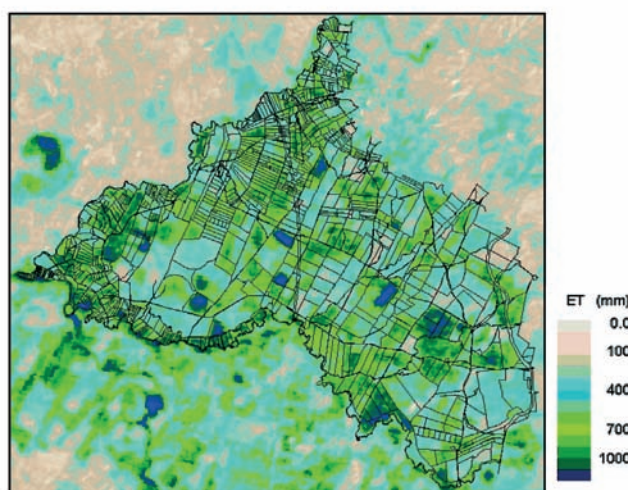
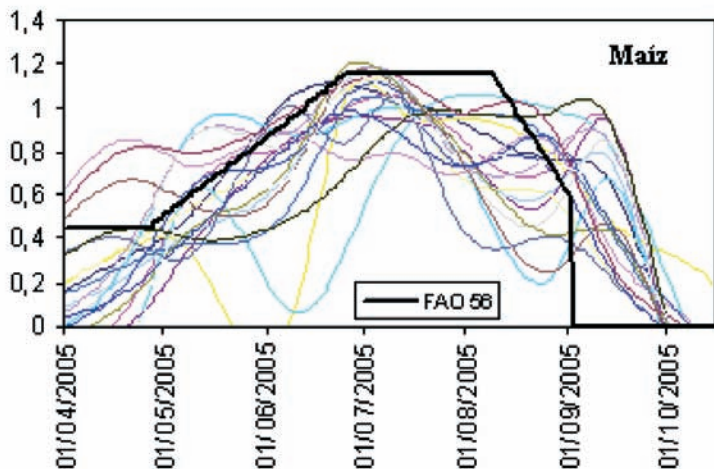


Figura 4:

Curvas de coeficiente de cultivo real para parcelas con maíz en la Zona Regable del Genil – Cabra (Córdoba) y en negro, curva empleada tradicionalmente basada en FAO (Allen et al., 1998)



mente las zonas de secano de la campaña cordobesa con una baja evapotranspiración, y las zonas regables en el curso del Río Guadalquivir con altas tasas de evapotranspiración (colores verdes y azules).

Igualmente, el análisis temporal de los valores de ET permite realizar estimaciones de cosecha, así como determinar valores de eficiencia del riego en parcela o determinar el volumen de agua aplicado por el agricultor. En la **Figura 3** se muestran los valores de ET estacional para la Zona Regable del Genil – Cabra, comprobándose la gran variabilidad de ET

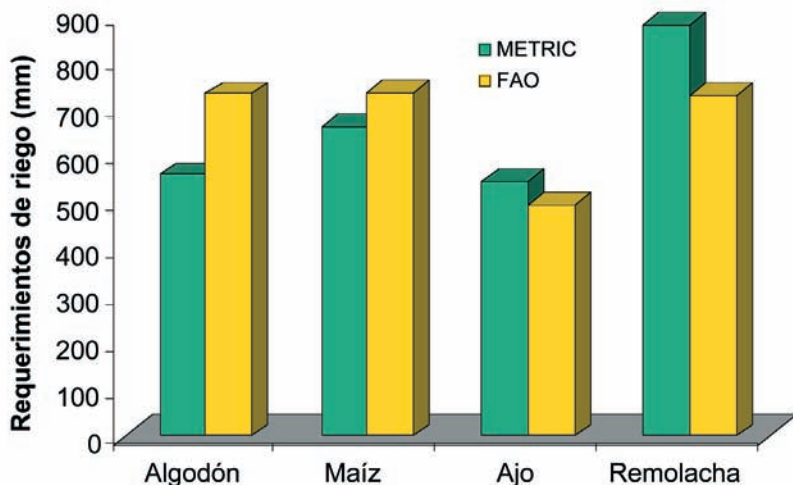
debido a diferentes cultivos, manejo y gestión del riego.

b. Generación de calendarios de riego

Tradicionalmente la generación de calendarios de riego empleando coeficientes de cultivo (Allen et al., 1998) ha sido la base del asesoramiento al regante. Estos coeficientes en muchas ocasiones no están adaptados a las condiciones locales, y por lo tanto los calendarios a partir de ellos generados pueden alejarse de las necesidades reales de los cultivos. De igual

Figura 5:

Valores medios de requerimientos de riego empleando la metodología tradicional (FAO) y la metodología propuesta en este trabajo empleando técnicas de teledetección (METRIC)



El uso más frecuente de la teledetección en los sistemas agrícolas de regadío es la estimación de la evapotranspiración (ET) real de los cultivos

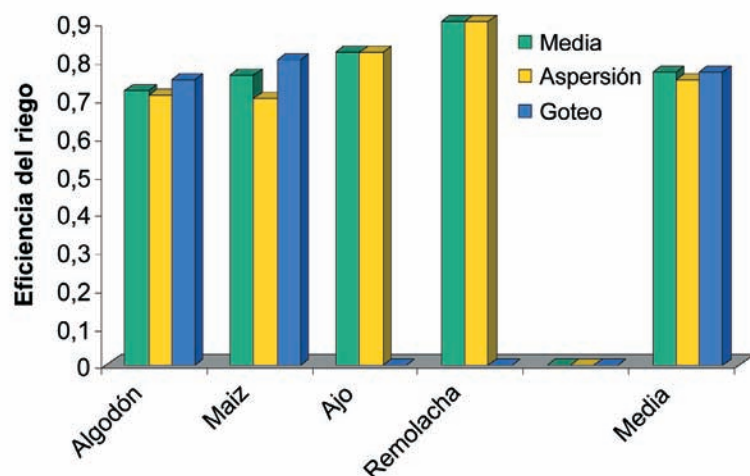
modo, el empleo únicamente del satélite presenta el gran inconveniente de la deficiente resolución temporal, es decir, el intervalo entre imágenes disponibles (16 días en el mejor de los casos) que hace que la programación de riegos no se pueda realizar de manera precisa.

La integración de la información proporcionada por METRIC a partir del satélite Landsat 5 (coeficientes de cultivo; **Figura 4**) con un modelo de balance de agua como LORMOD, proporciona una herramienta de suma utilidad dado que cada parcela cuenta con un calendario de riegos específico con información de la parcela y con escala diaria, suficiente para realizar un calendario de riegos ajustado a todas las características específicas del cultivo: fecha de siembra, recorte de caudal a final de campaña, etc. aportándose el riego en el momento más conveniente y en muchos casos, lográndose un ahorro de agua

Los coeficientes de cultivo reales obtenidos con METRIC para cada parcela de la zona mostraron una alta variabilidad como se puede comprobar en la **Figura 4**, debidos a múltiples factores relacionados con una deficiente gestión del riego, diferentes fechas de siembra, etc.

Al comparar las recomendaciones de riego realizadas con la metodología tradicional (FAO) con la nueva metodología de integración propuesta (METRIC) se encontraron diferencias significativas en muchas parcelas de la zona, especialmente en los cultivos de maíz, algodón y remolacha. Así, la consideración de las curvas de coeficiente de cultivo real afectadas por circunstancias adversas, provocó un significativo ahorro de agua en cultivos como el algodón y el maíz (alrededor del 20% en el algodón y 10% en el

Figura 6:
Valores medios de eficiencia del riego en parcela por cultivo y sistema de riego para la Zona Regable del Genil - Cabra



maíz; **Figura 5**). En estos casos, el crecimiento del cultivo en algunas parcelas no fue el óptimo, y por lo tanto las necesidades de riego fueron menores. Sin embargo, en otros cultivos como el ajo y la remolacha, la integración mostró que requerían más agua de la recomendada por el calendario estándar (un 10% en ajo y un 21% en remolacha; **Figura 5**), incremento que supondría un aumento en el rendimiento de estos cultivos al reducir el estrés generado por la estrategia de riego tradicional.

c. Identificación de la eficiencia del riego

Utilizando la ET distribuida espacialmente que proporciona METRIC, junto con registros reales de volúmenes de agua aplicados en parcela, se pueden estimar valores de eficiencia de riego, lo cual permite identificar aquellas parcelas que podrían necesitar mejoras en el manejo y gestión del riego. Esta metodología se constituye así como una herramienta de suma utilidad para los Servicios de Asesoramiento al Regante.

Así, la eficiencia media en parcela de la Zona Regable del Genil - Cabra se estimó en 0.77, lo cual puede ser considerado como un valor adecuado, cifrándose en un 23% las pérdidas por escorrentía o percolación profunda. Haciendo distinción entre los distintos métodos de riego, se comprobó que los sistemas de aspersión presentaban menor eficiencia que los siste-

mas de goteo (0.71 frente a 0.75 en algodón, ó 0.70 frente a 0.80 en maíz; **Figura 6**) con oscilaciones importantes entre parcelas. Así, se encontraron eficiencias del 60% debido al suelo arcilloso de la zona y a la topografía ondulada que hizo que se produjera escorrentía cuando el manejo del riego fue incorrecto, hasta algunas próximas al 100%.

d. Uniformidad de aplicación en parcela

Además de la eficiencia en la aplicación del riego, otro aspecto a considerar es la uniformidad de aplicación.

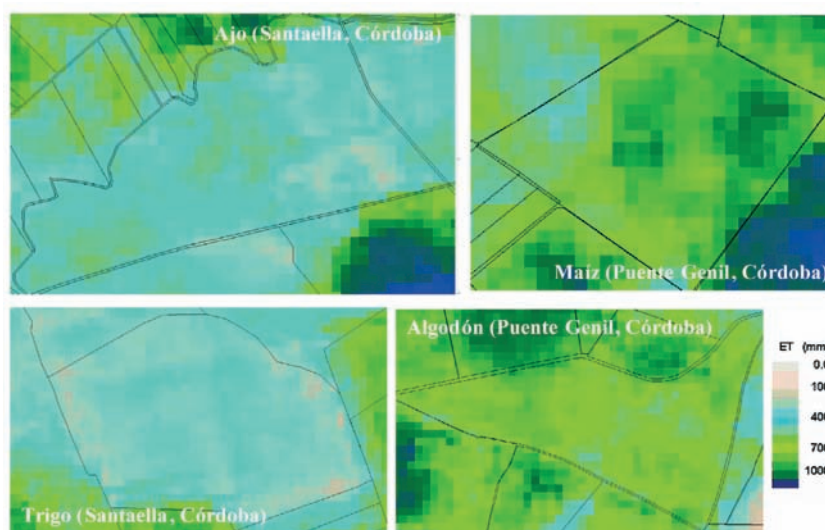
Para su determinación se pueden emplear técnicas de teledetección determinando aquellas zonas con valores reducidos de ET frente a otras zonas, dentro de la misma parcela, con valores de ET superiores. La causa de estas diferencias pueden ser debidas a factores ajenos al riego (enfermedades o plagas, problemas de nascencia, etc.) pero también pueden ser causadas por problemas con la uniformidad del riego, encharcamiento, etc. En la **Figura 7** se muestran algunas parcelas con deficiente uniformidad (diferencias significativas de ET) causadas posiblemente por un deficiente manejo del riego.

e. Estimación del volumen de riego aplicado

La determinación de la evapotranspiración estacional anteriormente comentada permite, conociendo valores aproximados de eficiencia del riego en parcela, determinar de manera bastante precisa la cantidad de riego aplicado por el agricultor en su parcela. Esta tarea es de suma utilidad a los gerentes de zonas regables y gestores de cuenca al poder identificar riegos no autorizados o determinar si el consumo realizado por los agricultores es el adecuado o no, especialmente en zonas regables sin contadores en parcela.

Para estimar el consumo de agua de cada parcela utilizando METRIC es

Figura 7:
Variabilidad de la ET estacional dentro de parcela para diferentes cultivos y zonas regables de la provincia de Córdoba

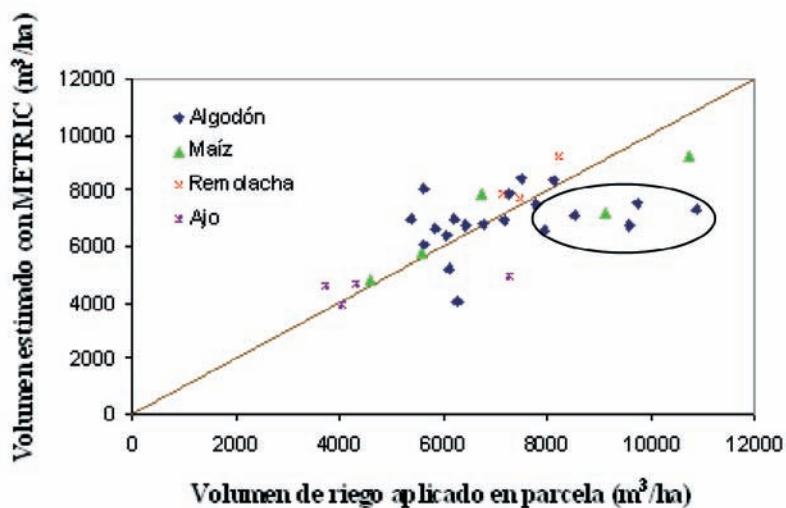


preciso conocer de forma aproximada la eficiencia del riego. Una vez conocido o estimado este valor, junto con la ET determinada por METRIC se puede obtener el consumo en parcela. En la **Figura 8** se recoge la validación de los resultados obtenidos al comparar los consumos estimados por METRIC con los valores medidos en parcela con contadores.

De forma general, se comprobó que las estimaciones de volumen basadas en este procedimiento eran precisas, al compararlas con los registros reales medidos en parcela. Así, mientras que el valor medio de las medidas reales fue de 6,990 m³/ha, el valor del consumo estimado con METRIC fue 6,770 m³/ha, implicando un error del 3%. Realizando este análisis parcela por parcela, en más del 60% de las parcelas la metodología desarrollada en este trabajo generó una estimación precisa del volumen de riego aplicado (parcelas sobre la línea 1:1 en la **Figura 8**), permitiendo además identificar aquellas parcelas en las que se estaba regando en exceso (parcelas marcadas con un círculo en la **Figura 8**).

Figura 8:

Comparación entre el volumen de agua de riego aplicado estimado con METRIC y el volumen real registrado en parcela. En naranja, línea 1:1. En el círculo se indican las parcelas con riego excesivo.



Conclusiones

En este trabajo se han mostrado algunas de las aplicaciones de la teledetección para la mejora de la gestión del riego. Así, con la ayuda de información proporcionada con el satélite Landsat y modelos como METRIC se ha determinado la evapotranspiración real de los cultivos, y a partir de esta información se han obtenido calendarios de riego que recogen las características específicas del cultivo, y que no son consideradas con la metodología tradicional.

La estimación de la eficiencia de riego en parcela supone un gran avance dada la dificultad que normalmente conlleva la estimación de este valor en campo, al igual que la estimación de volúmenes de riego a partir de los resultados proporcionados por METRIC, permitiendo determinar el volumen de agua



Con la ayuda de información proporcionada con el satélite Landsat y modelos como Metric se ha determinado la evapotranspiración real de los cultivos

aplicado por el agricultor en épocas de suministro restringido, o la cantidad de agua subterránea extraída a través de pozos para riego.

Finalmente, la metodología descrita en este trabajo puede constituirse en una herramienta de gran utilidad para mejorar la labor realizada por los Servicios de Asesoramiento al Regante, especialmente en épocas de sequía, pudiendo identificar a regantes con una deficiente gestión del riego en parcela, y dar así recomendaciones más precisas y específicas.

Agradecimientos

Parte de este trabajo ha sido premiado con el accésit del IX Premio Unicaja de Investigación Agraria.

Bibliografía

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M., 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 56. FAO. Roma.

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R., 2007a. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC)-Model. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 133 (4): 380-394.

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Morse, A.; Trezza, R.; Wright, J.L.; Bastiaanssen, W.; Kramber, W.; Lorite, I.; Robison C., 2007b. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Applications. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 133 (4): 395-406.

Bastiaanssen, W.G.M.; Menenti, M.; Feddes, R.A.; Holtslag, A.A.M., 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. Journal of Hydrology, 212-213:198-212.

Lorite, I.J.; Mateos, L.; Fereres, E., 2004a. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. I. Model and general assessment of an irrigation scheme. Irrigation Science, 23: 77-84.

Lorite, I.J.; Mateos, L.; Fereres, E., 2004b. Evaluating irrigation performance in a Mediterranean environment. II. Variability among crops and farmers. Irrigation Science, 23: 85-92. •