



III CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2017

Puebla, Pue., del 28 al 30 de noviembre de 2017

ESTIMACIÓN DE ET_c y K_c MEDIANTE UN MODELO DE BALANCE DE ENERGÍA.

**Braulio Antonio Vázquez Rodríguez^{1*}; Ronald Ernesto Ontiveros Capurata²;
Waldo Ojeda Bustamante²; Alberto González Sánchez²**

¹Posgrado en Ciencias y Tecnología del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

b.v.r@outlook.com (*Autor de correspondencia)

²Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

Resumen

Conocer los valores de evapotranspiración de un cultivo propicia una gestión eficiente del agua en el riego, y una mejora en la eficiencia de aplicación espacial del mismo. Este trabajo presenta el uso del modelo de balance de energía de superficie en tierra, *SEBAL* (Bastiaanssen, 1995), por sus siglas en inglés, el cual utiliza imágenes satelitales para estimar la evapotranspiración, en este caso, para la zona agrícola del Norte de Sinaloa en el Distrito de Riego 075 Río Fuerte, Módulos Santa Rosa y Batequis, ubicada al noreste de Los Mochis; siendo los cultivos más representativos por superficie sembrada el de maíz-grano, frijol, caña de azúcar, jitomate y papa. Cuatro imágenes *LANDSAT 5* correspondientes al inicio y final de dos periodos agrícolas 2002-2003 y 2005-2006, seleccionadas bajo condiciones climáticas óptimas para aplicar el método fueron corregidas radiométricamente. Los resultados obtenidos muestran una distribución espacial de evapotranspiración y coeficiente de cultivo (K_c) para cada imagen. El valor de K_c es obtenido indirectamente de la relación $ET_c = K_c * ET_o$, donde ET_o es la evapotranspiración de referencia obtenido por el método de Hargreaves y Samani (1985). El rango de valores de evapotranspiración de cultivo (ET_c) obtenido con el método *SEBAL* varía de 0 a 10.22 [mm/día] para las cuatro imágenes, los coeficientes de cultivo estimados oscilan entre 0.01 a 1.62 y un promedio de 0.81 ± 0.47 para el 15/11/2002, de 0.05 a 1.73 con promedio de 0.89 ± 0.49 para el 30/08/2003, de 0.22 a 1.63 con promedio de 0.93 ± 0.41 para el 07/11/2005 y 0.3 a 1.6 con promedio de 0.95 ± 0.38 para el 05/11/2006. En conclusión, este método resulta una herramienta útil pues permite contar con una distribución espacial más precisa de la ET_c y K_c .

Palabras clave adicionales: evapotranspiración, *SEBAL*, cultivos de extensión, percepción remota, agrohidrología.



Introducción

En el país se han planteado diversas estrategias y programas de modernización y tecnificación del riego para incrementar los índices de productividad del campo, generando a su vez nuevos retos técnicos que deberán partir de un análisis preciso de los volúmenes de agua a utilizar en el sector agrícola. De acuerdo con lo publicado por la Comisión Nacional del Agua en 2016 (CONAGUA, 2016), del volumen total de agua concesionado ($266\,559\text{ hm}^3$), $65\,359\text{ [hm}^3]$ fueron destinados para uso agrícola (usos agrupados consuntivos), representando el 76.3% de volumen total concesionado, siendo este el mayor volumen de agua utilizado para una actividad respecto a los demás usos como el de abastecimiento público e industrial entre otros.

Estimar los valores de la evapotranspiración de un cultivo (ET_c) puede favorecer una gestión eficiente en el riego (Johnson y Trout, 2012), lo cual ayuda a anticipar la sobreexplotación o mitigación de algún efecto en la disponibilidad del recurso hídrico, en las zonas agrícolas.

La evapotranspiración de un cultivo es la combinación de dos procesos separados por los cuales se pierde agua en el suelo y en las plantas o cultivos debido a la transpiración (Allen *et al.*, 2006). Estos procesos son la evapotranspiración del cultivo de referencia o ET_o y la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar o ET_c .

Los valores de evapotranspiración en un cultivo son obtenidos tradicionalmente mediante métodos directos o empíricos, para ambos casos se requiere de información que debe ser obtenida directamente en campo, incrementando los costos de proyecto, llegando a ser demandante cuando se pretende analizar áreas extensas. El análisis conjunto de la información obtenida con sensores remotos, ha demostrado ser una herramienta eficiente para estimar cuantitativamente los fenómenos físicos que afectan los distintos cultivos.

El objetivo del presente trabajo fue obtener los valores de evapotranspiración (ET_c) y coeficiente de cultivo (K_c) para cultivos de la zona agrícola del Norte del estado de Sinaloa a través del análisis de un modelo de flujo de energía (SEBAL) mediante el análisis y procesamiento de imágenes satelitales.

Materiales y métodos

Zona de estudio

La zona de estudio se ubica dentro del distrito de riego 075 - Río Fuerte, en el estado de Sinaloa, México, cuyo esquema regional de ubicación se aprecia en la figura 1. Se trata de los módulos de Santa Rosa y Batequis, los cuales fueron considerados en un polígono de 22 142 hectáreas.

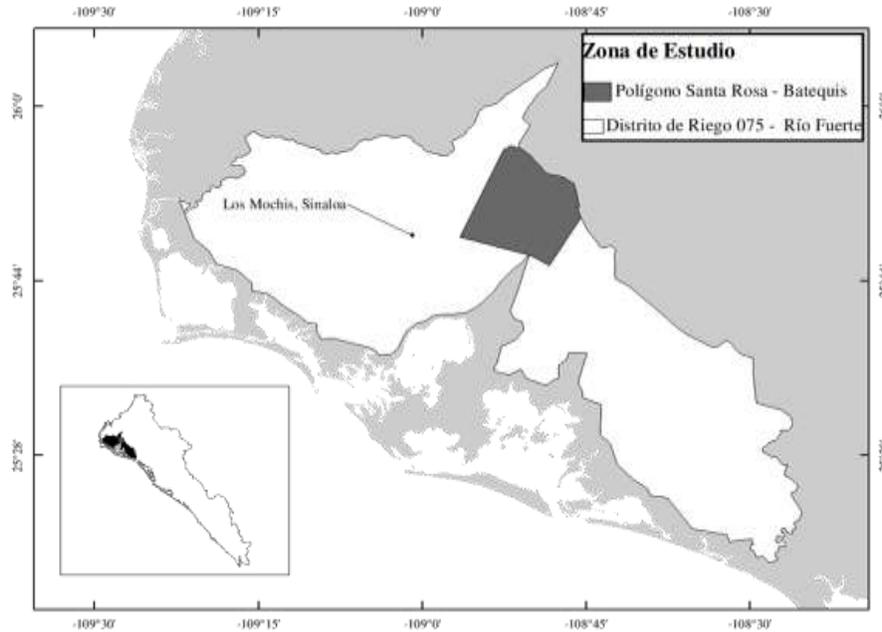


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

De acuerdo con CONAGUA (2014), el cultivo bajo riego en el DR-075 que presenta mayor superficie sembrada para el año agrícola 2013 – 2014 fue el de maíz grano (con 137 710 ha), considerando que este trabajo contempla los periodos 2002-2003 y 2005-2006 se consultó lo reportado en dichos periodos, con 97 710 [ha] y 91 740 [ha] de superficie sembrada respectivamente, además, se reportan cultivos como el de frijol, caña de azúcar, jitomate y chile verde entre otros.

Modelos de balance de energía

Los modelos de balance de energía de superficie, son modelos físicos basados en la interacción de la energía proveniente del sol con la superficie terrestre, su uso se fundamenta en el cálculo de valores de energía reflejada al sensor derivados de un intercambio de energía entre los sistemas involucrados.

El modelo general del balance de energía en la superficie terrestre se muestra en la ecuación 1.

$$R_n = G + H + \lambda ET \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (1)$$

Donde:

R_n : es el flujo de radiación neta

G : densidad de flujo de calor del suelo en la superficie

H : densidad de flujo de calor sensible

λET : densidad de flujo de calor latente o energía latente consumida por la ET.



Existen diferentes métodos basados en estos modelos para estimar la ET de cultivo, por ejemplo: SEBAL (*Surface Energy Balance at Land*, Bastiaanssen, 1995), METRIC (*Mapping Evapotranspiration with Internilized Calibration*, Allen, 2007), ReSET (*Remote Sensing Evapotranspiration*, Elhaddad y Garcia, 2008), entre otros. En este trabajo se aborda la metodología SEBAL para obtener los valores de ET.

Estimación de ET_c por el método SEBAL

El modelo de balance de energía de superficie a tierra, por sus siglas en inglés: *Surface Energy Balance at Land*, es un modelo para estimar la ET para cultivos que fue desarrollado por Bastiaanssen (1995), y modificado por Allen *et al.* (1998). Se ha probado ampliamente y se le considera un método con adecuada precisión para estimar la ET. (i.e. Kiptala *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2013; Machado *et al.*, 2014).

Para obtener los valores de ET con SEBAL a partir de imágenes satelitales, estas deben ser corregidas radiométricamente, para posteriormente ser incorporadas al modelo SEBAL, el cual puede resumirse en los siguientes pasos:

1) Obtener el valor de Albedo (α)

Es la proporción de radiación incidente que es reflejada por la superficie terrestre, un método para obtener el valor del albedo se describe en el trabajo de Morse *et al.* (2000):

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{pr}}{\tau_{sw}^2} \quad (2)$$

$$\tau_{sw} = 0.75 * 2 * 10^{-5} * z \quad (3)$$

Dónde:

α : es el albedo

α_{toa} : es el albedo en el límite superior de la atmósfera

α_{pr} : es el albedo de trayectoria

τ_{sw} : es la transmitancia en un sentido con condiciones de claridad [W/m^2K]

z : es la elevación sobre el nivel del mar [m]

2) Obtener el valor de radiación de onda corta entrante $R_{S\downarrow}$

Morse *et al.* (2000), muestran que la radiación de onda corta de entrada asumiendo una condición atmosférica libre de nubes es:

$$R_{S\downarrow} = G_{sc} * \cos(\theta) * d_r * \tau_{sw} \quad (4)$$



Dónde:

$R_{S\downarrow}$: radiación de onda corta entrante [W/m^2]

G_{sc} : constante solar 1367 [W/m^2]

θ : ángulo cenital solar [rad]

d_r : inversa de la distancia Sol-Tierra

τ_{sw} : es la transmitancia en un sentido con condiciones de claridad.

3) Obtener el valor de radiación de onda larga saliente $R_{L\uparrow}$

De Morse *et al.* (2000):

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 * \sigma * T_s^4 \quad (5)$$

Dónde:

$R_{L\uparrow}$: radiación de onda larga saliente [W/m^2]

ε_0 : emisividad del ancho de banda en la superficie

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5.67*10^{-8}$ [W/m^2])

T_s : temperatura de la superficie [K]

4) Obtener la radiación de onda larga entrante $R_{L\downarrow}$

Se obtiene a partir de la ecuación expuesta por Bastiaanssen *et al.* (1998) la cual está definida por la emisividad de la atmósfera en condiciones de claridad.

$$R_{L\downarrow} = 1.08 * (-\ln(\tau_{sw}))^{0.265} * \sigma * T_{0ref}^4 \quad (6)$$

Dónde:

K_{\downarrow} : radiación de onda corta entrante [W/m^2]

τ_{sw} : es la transmitancia en un sentido con condiciones de claridad

σ : constante de Stefan-Boltzmann ($5.67*10^{-8}$ [W/m^2])

T_{0ref} : temperatura en un punto de referencia con buen riego.

5) Resolver la ecuación de balance de radiación de la superficie para R_n

El flujo de radiación neta se puede calcular con la ecuación expuesta en el trabajo de Morse *et al.* (2000):

$$R_n = (1 - a)R_{S\downarrow} + (R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow}) - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (7)$$



Dónde:

R_n : flujo de radiación neta [W/m^2]
 α : es el albedo de superficie
 $R_{S\downarrow}$: radiación de onda corta entrante [W/m^2]
 $R_{L\downarrow}$: radiación de onda larga entrante [W/m^2]
 $R_{L\uparrow}$: radiación de onda larga saliente [W/m^2]
 ε_0 : emisividad del ancho de banda en la superficie

6) Flujo de calor del suelo G

Se puede obtener directamente por la propuesta de Choudhury *et al.* (1987), la cual es propuesta por Allen *et al.* (1998), El flujo de calor del suelo puede describirse como:

$$G = 0.4 * e^{-0.5*LAI} * R_n \quad (8)$$

Dónde:

G : flujo de calor del suelo [W/m^2]
 LAI : índice del área foliar
 R_n : flujo de radiación neta [W/m^2]

No obstante, es calculada como la relación de calor almacenado en el suelo y vegetación debida a la conducción R_n , Bastiaanssen (2000):

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98 * NDVI^4) \quad (9)$$

Dónde:

$\frac{G}{R_n}$: relación del calor almacenado en suelo y vegetación
 T_s : es la temperatura estimada de la banda 6 TM
 α : es el albedo de superficie
 $NDVI$: es el índice de vegetación de diferencia normalizada
7) Obtener el flujo de calor H

De Bastiaanssen *et al.* (1998), su valor se puede obtenerse de la expresión:

$$H = \frac{\rho_a c_p \delta T_a}{r_{ah}} \quad (10)$$



Dónde:

H : flujo de calor sensible [W/m^2]

ρ_a : densidad del aire [kg/m^3]

c_p : calor específico del aire [$1004 J/kg/K$]

δT_a : diferencia de temperaturas ($T_1 - T_2$) entre dos alturas ($z_1=0.1$ y $z_2=2$ m) [K]

r_{ah} : resistencia aerodinámica al transporte de calor [s/m]

8) Resolver la ecuación de balance para λET

Finalmente retomando la ecuación (1), se obtiene el valor de la energía latente consumida por la evapotranspiración (λET).

$$\lambda ET = R_n - G - H \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (11)$$

Dónde:

λET : densidad de flujo de calor latente o energía latente consumida por la ET.

R_n : flujo de radiación neta

G : flujo de calor del suelo

H : flujo de calor sensible

9) Obtener los valores de ET instantánea.

$$ET_{inst} = \frac{\lambda ET}{\lambda} \text{ [mm/hr]} \quad (12)$$

Dónde:

λ : calor latente de vaporización [J/kg]

10) Finalmente, la evapotranspiración de cultivo es obtenida como:

$$ET_c = ET_{inst} * N \text{ [mm/día]} \quad (13)$$

Dónde:

ET_{inst} : evapotranspiración de referencia [mm/hr]

N : número de horas sol [$hr/día$]

Evapotranspiración de referencia ET_o de Hargreaves y Samani

Este método estima la evapotranspiración de referencia (ET_o) mediante información climatológica. El modelo fue planteado por los autores Hargreaves y Samani en 1985, y ha sido utilizados con bastante frecuencia sobre todo en regiones con escasa disponibilidad de datos climáticos.



El modelo utiliza la cantidad de radiación solar, y las temperaturas máxima, mínima y media históricas, para el día en el que se desea estimar la evapotranspiración de referencia, el modelo se describe en la ecuación 14.

$$ET_0 = 0.0023 * R_a * (T_m + 17.8) * TD^{0.5} [MJ/m^2/día] \quad (14)$$

Dónde:

R_a : radiación extraterrestre [$MJ/m^2/día$]

T_m : temperatura media del aire[°C]

TD : diferencia de temperaturas máxima y mínima del aire, $TD = T_{max} - T_{min}$ [°C]

La radiación extraterrestre (R_a) es calculada en función del ángulo solar y la latitud, para una malla de valores correspondiente a la zona de estudio, y el día requerido, su valor se calcula según la ecuación 15 (Allen *et al.*, 1998).

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{cs} d_r (\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)) [MJ/m^2/día] \quad (15)$$

Dónde:

R_a : radiación extraterrestre [$MJ/m^2/día$]

G_{sc} : constante solar, 0.082[$MJ/m^2/día$]

d_r : inverso de la distancia relativa Tierra - Sol

ω_s : ángulo de la hora de puesta de sol[$MJ/m^2/día$]

φ : latitud [rad]

δ : declinación solar [rad]

Estimación del coeficiente de cultivo K_c

Para calcular el coeficiente de cultivo bajo condiciones estándar en la zona, se utilizó la relación entre la evapotranspiración de cultivo y la evapotranspiración de referencia (ver ecuación 15, Allen *et al.*, 1998).

$$ET_c = K_c * ET_0 [mm/día] \quad (15)$$

A partir de la ecuación 15, el coeficiente de cultivo (K_c) se expresa en la ecuación 16, tomando en cuenta la ET obtenida con el método SEBAL como la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración de referencia como la ET_0 de Hargreaves.

$$K_c = \frac{ET_{c,SEBAL}}{ET_{0,Har}} [adimensional] \quad (16)$$



Análisis y discusión de resultados

Para cada imagen se implementó la metodología *SEBAL*, se generaron las imágenes de radiación neta de superficie (R_n), flujo de calor del suelo (G), flujo de calor sensible (H), y de evapotranspiración ($ET_{c,SEBAL}$), además se obtuvo la evapotranspiración de referencia de Hargreaves ($ET_{o,Har}$).

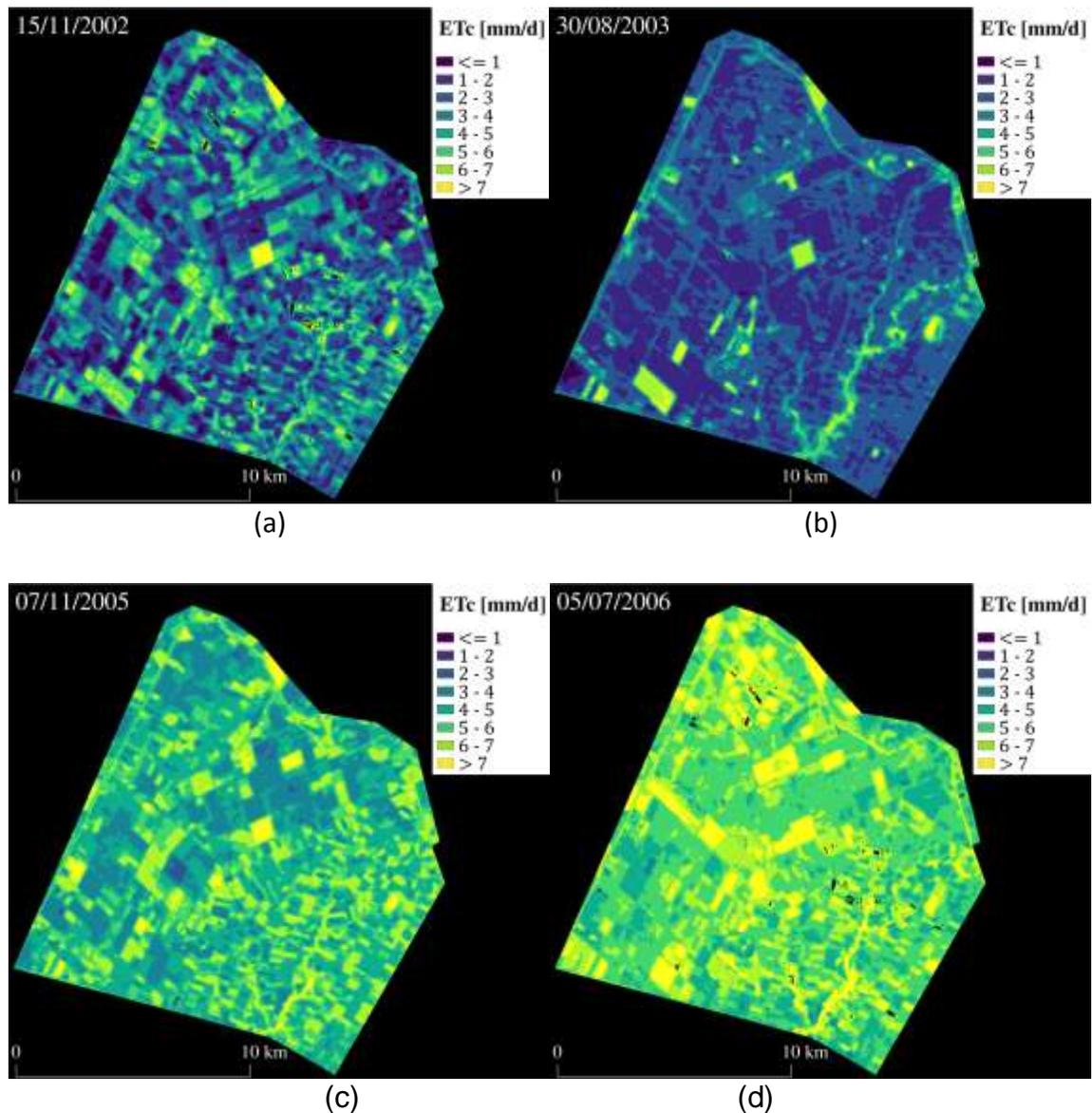


Figura 2. Valores de ET_c diarios calculados mediante el modelo *SEBAL* utilizando imágenes *LANDSAT 5*: (a) 15/Nov/2002. (b) 30/Ago/2003. (c) 7/Nov/2005. (d) 5/Jul/2006.

Estimación de ET_c mediante el método *SEBAL* ($ET_{c,SEBAL}$)

La estimación de los valores de evapotranspiración de cultivo (ET_c) del método *SEBAL* se muestra en la figura 2, se clasificó en intervalos de 1 [mm/día] y en un



rango de 1 a 7 [mm/día], los estadísticos para cada fecha se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Valores estadísticos de evapotranspiración de cultivo (ET_c) para cada fecha estimados mediante el método SEBAL.

Fecha	ET_c min [mm/d]	ET_c max [mm/d]	ET_c promedio [mm/d]	Desviación Estándar
15/11/2002	0.01	8.86	4.43	2.57
30/08/2003	0.25	7.87	4.06	2.21
07/11/2005	0.98	9.27	5.12	2.41
05/07/2006	0.04	10.22	5.13	2.96

Para el inicio del primer periodo agrícola (Nov/2002, Fig. 2a), la distribución de los valores de evapotranspiración oscila entre 0.01 a 8.86 (mm/d), se observa que los valores máximos de ET corresponden a las zonas de cultivo y con presencia de vegetación. Para el fin del periodo agrícola (Ago/2003, Fig. 2b) la ET se muestra entre valores de 0.25 a 7.87 (mm/d), en esta se nota la disminución de sectores con alta evapotranspiración lo cual corresponde a la ausencia de cultivos.

Respecto al inicio del segundo periodo (Nov/2005, Fig. 2c), la distribución de valores de ET_c oscilan entre 0.98 a 9.27 (mm/d), y al término (Jul/2006, Fig. 2d) entre 0.04 y 10.22 (mm/d), observándose una distribución homogénea de los valores en los cultivos de la zona de estudio.

Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

La evapotranspiración de referencia se obtuvo mediante la ecuación 15, correspondiente al modelo de Hargreaves y Samani (1985), se calcularon las mallas de valores para cada día, los resultados gráficos se muestran en la figura 3.

En la figura 3 se puede observar claramente que la ET_o estimada varía espacialmente conforme la latitud lo cual es evidente en la ecuación 15, para las figuras 2a, 2b y 2c, la ET_o aumenta a latitudes bajas. No obstante, en la figura 3d, se observa que disminuye, este efecto es debido a la distancia entre el planeta y el sol que se presenta en las diferentes fechas y a la inclinación del eje terrestre conforme orbita el sol, valores que al aplicar la ecuación 15, reflejan el sentido o cambio de máximo a mínimo espacialmente.

Se observó una variación de los valores de ET_o en la zona de 0.0187 [mm/d] para el 15/Nov/2002, de 2.59×10^{-3} [mm/d] para el 30/Ago/2003, de 0.01706 [mm/d] para el 7/Nov/2005, y de 3.512×10^{-3} [mm/d] para el día 5/Jul/2006, cabe señalar que el cálculo de ET_o de Hargreaves depende de las temperaturas máxima y mínima locales (ec.14), estos valores se obtuvieron a partir de la información disponible.

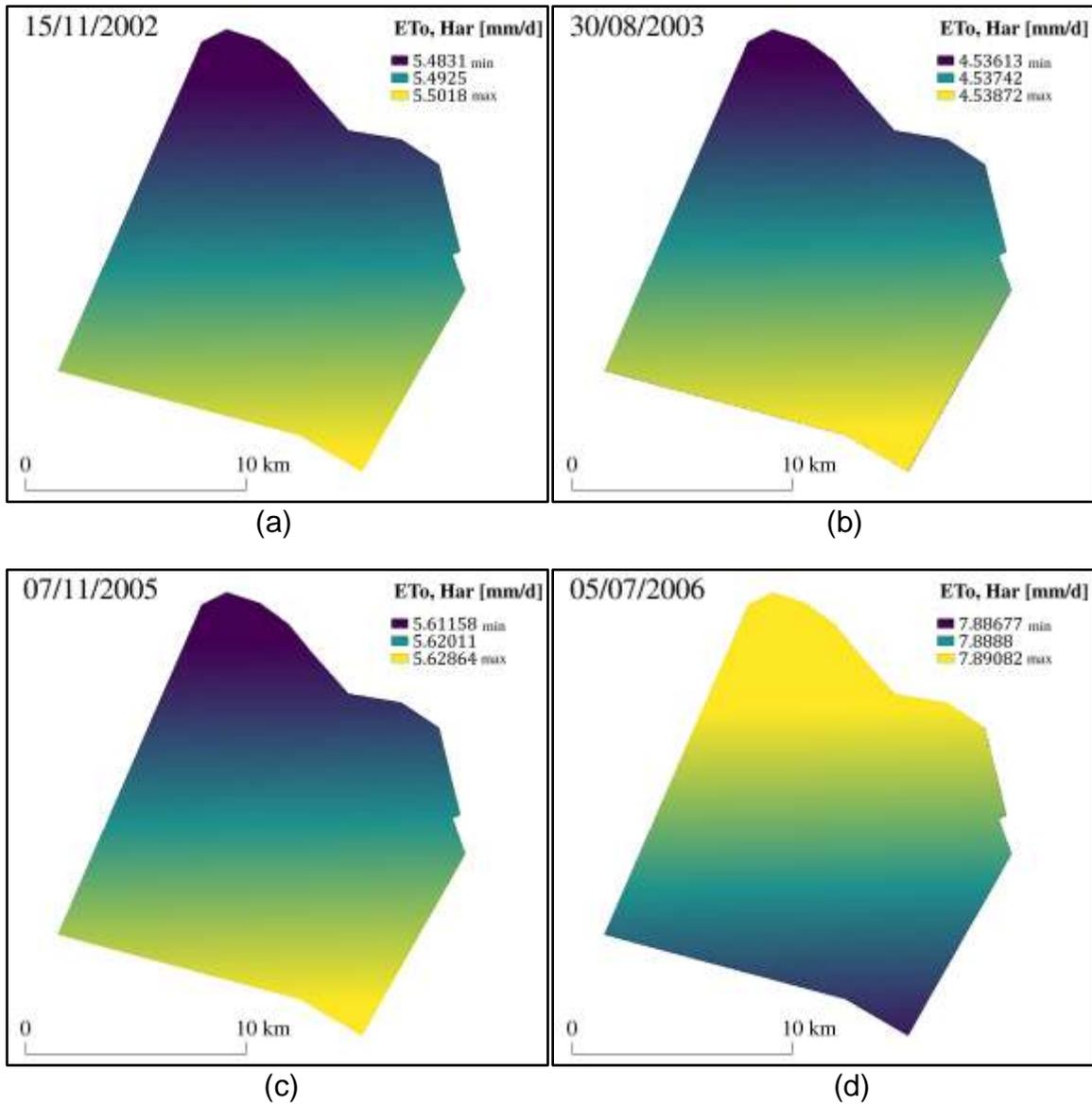


Figura 3. ET₀ calculados mediante el método de Hargreaves para: (a) 15/Nov/2002, (b) 30/Ago/2003 (c) 7/Nov/2005 y (d) para 5/Jul/2006.

Coeficiente de cultivo (K_c)

Finalmente, para obtener la estimación de los coeficientes de cultivo K_c , se aplicó la ecuación 16 a las mallas de valores de ET obtenidas con el método *SEBAL* y de ET₀ del modelo de Hargreaves. Los valores máximos y mínimos, así como el promedio y la desviación estándar tienen representación gráfica en la figura 4.



Comparación de Kc para las imágenes seleccionadas

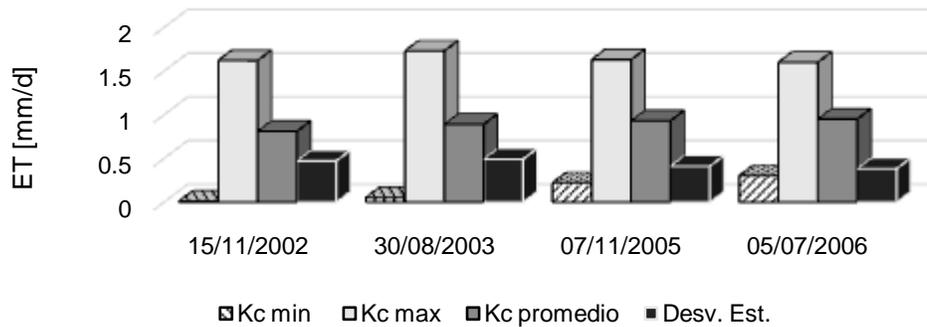


Figura 4. Representación gráfica de los valores máximos y mínimos para las imágenes seleccionadas.

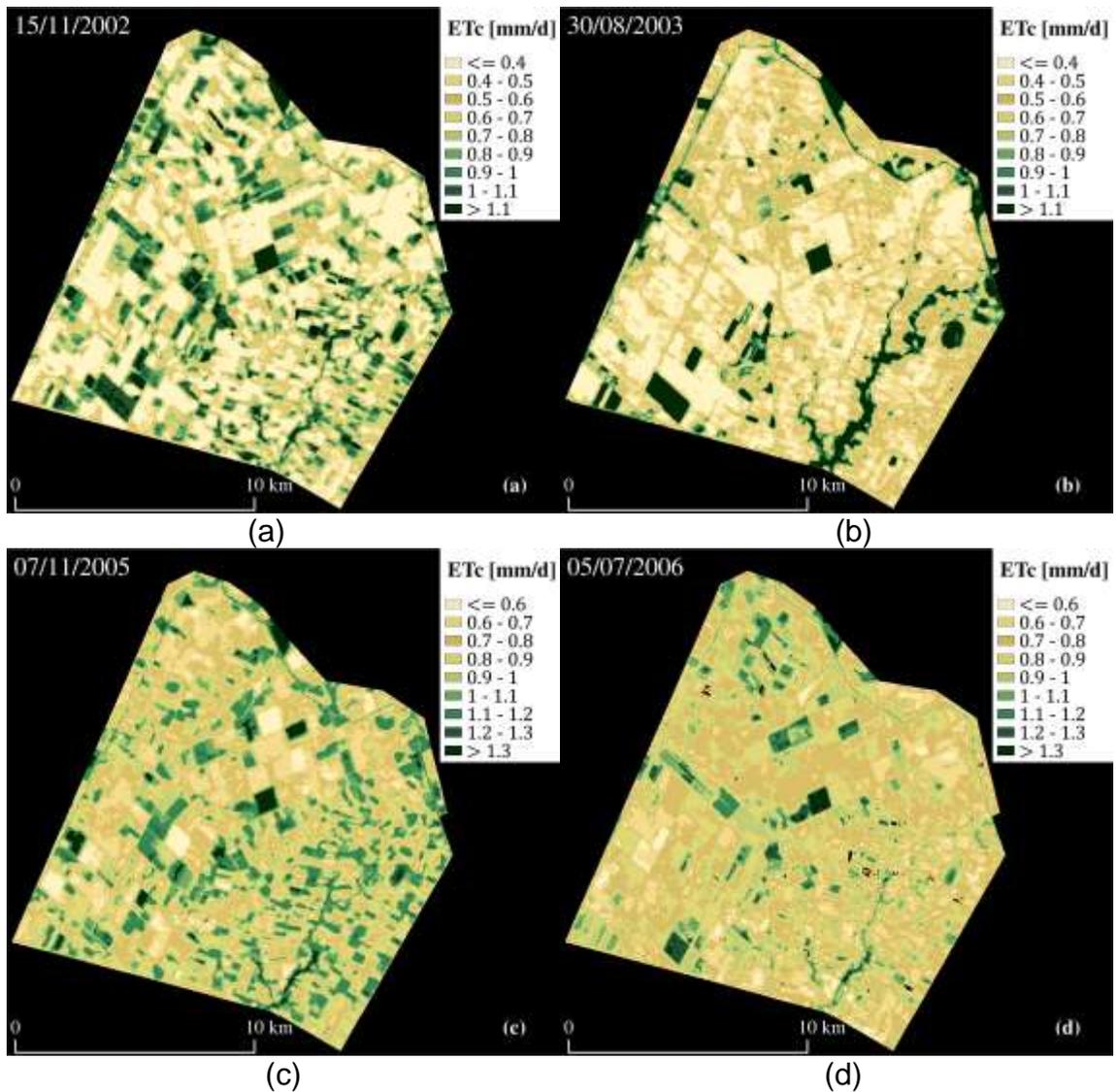


Figura 5. Distribución espacial de los valores de Kc calculada para: (a) 15/Nov/2002, (b) 30/Ago/2003, (c) 07/Nov/2005 y (d) 05/Jul/2006.



Se clasificaron los valores de K_c en intervalos de 0.1 para las imágenes del 07/11/2005 y 05/07/2006 (Fig. 5d y 5c), mientras que para el 15/11/2002 y el 30/08/2003 (Fig. 5a y 5b) fue de 0.2 para resaltar el valor.

Independientemente del tipo de cultivo se observa que la distribución de los valores K_c arriba de 0.5 corresponden a las áreas cultivadas o con vegetación.

Dado que no se contó con la información correspondiente a la localización y tipo de cultivos que existieron en el momento en que las imágenes fueron adquiridas, no fue posible ofrecer una identificación de la etapa fenológica en que los cultivos se encontraban.

Conclusiones

El modelo de balance de energía SEBAL permitió estimar los valores de ET_c para la zona de estudio a una resolución espacial de 30 m, lo cual posibilita visualizar la distribución espacial de los requerimientos hídricos de los cultivos con mayor precisión.

A partir de las estimaciones de la evapotranspiración de cultivo (ET_c) es posible contar con la distribución espacial de los valores del coeficiente de cultivo (K_c) en cualquier punto en las zonas de cultivo, de esta manera es posible identificar las zonas con mayor y menor requerimiento hídrico con miras a hacer un uso más eficiente del recurso hídrico.

Conocer la distribución de la ET_c puede advertir sobre el déficit o excedente de riego, así como ayudar a mejorar su distribución y por lo tanto la eficiencia de aplicación espacialmente.

Referencias Bibliográficas

- Allen, R. G. (2007). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC). *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133, 380–394.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 56*, FAO, (56), 300.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego y Drenaje*.
- Bastiaanssen, W. G. M. (1995). Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: a remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. *Doctoral thesis*, Wageningen Agricultural University, Wageningen The Netherlands.



- Bastiaanssen, W. G. M. (2000). SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey, *Journal of Hydrology*, 229, 87–100.
- Bastiaanssen, W. G. M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J. F., Roerink, G. J., y Van DerWal, T. (1998). A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). *Journal of Hydrology*, 212–213, 213–229.
- Choudhury, B. J., Idso, S. B., y Reginato, R. J. (1987). Analysis of an empirical model for soil heat flux under a growing wheat crop for estimating evaporation by an infrared-temperature based energy balance equation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 39(4), 283–297.
- CONAGUA. (2016). Estadísticas del Agua en México, Edición 2016. Publicaciones Estadísticas y Geográficas. SINA, 275.
- Elhaddad, A., y Garcia, L. (2008). Surface Energy Balance-Based Model for Estimating Evapotranspiration Taking into Account Spatial Variability in Weather. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134, 681–689.
- Hargreaves, G. H., y Samani, Z. A. (1985). Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96–99.
- Johnson, L. F., y Trout, T. J. (2012). Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California's San Joaquin Valley. *Remote Sensing*, 4(2), 439–455.
- Kiptala, J. K., Mohamed, Y., Mul, M. L., y Van Der Zaag, P. (2013). Mapping evapotranspiration trends using MODIS and SEBAL model in a data scarce and heterogeneous landscape in Eastern Africa. *Water Resources Research*, 49(12), 8495–8510.
- Li, Z., Liu, X., Ma, T., Kejia, D., Zhou, Q., Yao, B., y Niu, T. (2013). Retrieval of the surface evapotranspiration patterns in the alpine grassland-wetland ecosystem applying SEBAL model in the source region of the Yellow River, China. *Ecological Modelling*, 270, 64–75.
- Machado, C. C., Da Silva, B. B., De Albuquerque, M. B., y Galvancio, J. D. (2014). Estimativa do balanço de energia utilizando imagens TM - Landsat 5 e o algoritmo SEBAL no litoral sul de Pernambuco. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 29(1), 55–67.
- Morse, A., Allen, R. G., y Kramber, W. J. (2000). Final Report Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing Idaho Department of Water Resources submitted to The Raytheon Systems Company Earth. The Raytheon Systems Company Earth Observation System Data and Information System Project.