

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



Braulio Antonio Vázquez Rodríguez

Posgrado en Ciencias y Tecnología del Agua

Ronald Ernesto Ontiveros Capurata

Waldo Ojeda Bustamante

Alberto González Sánchez

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

30/11/2017

- › Introducción
 - › Objetivo
- › Metodología
 - › Zona de estudio
 - › Modelos de balance de energía
 - › Metodología SEBAL para estimar ET_c
 - › Modelo de evapotranspiración de referencia ET_o
 - › Coeficiente de cultivo K_c
- › Discusión de resultados
- › Conclusiones

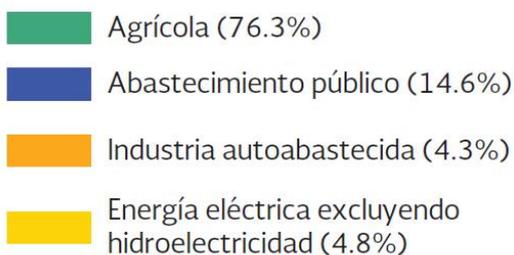
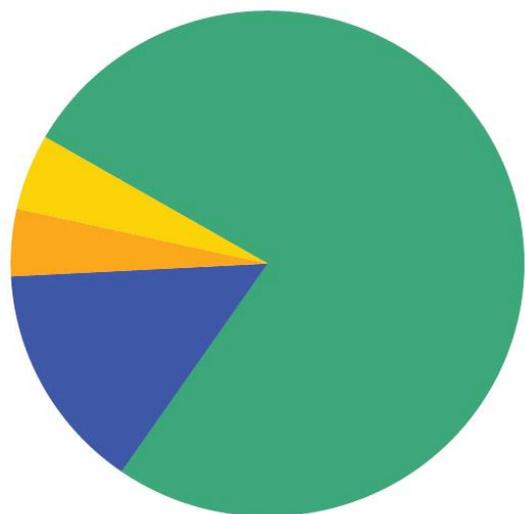


Figura 1. Distribución de volúmenes concesionados por usos agrupados consuntivos, 2015 (Conagua, 2016)

Datos de CONAGUA (2016) muestran que el volumen total concesionado de agua en 2015 fue de 266,559 hm³, siendo 65,359 hm³ (76.3%) destinado para uso agrícola (Fig. 1).

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

Objetivo:

Obtener los valores de evapotranspiración de cultivo (ET_c), coeficiente de cultivo (K_c) en la zona agrícola del Norte del estado de Sinaloa a través del análisis de un modelo de flujo de energía (SEBAL) apoyado en el análisis y procesamiento de imágenes satelitales

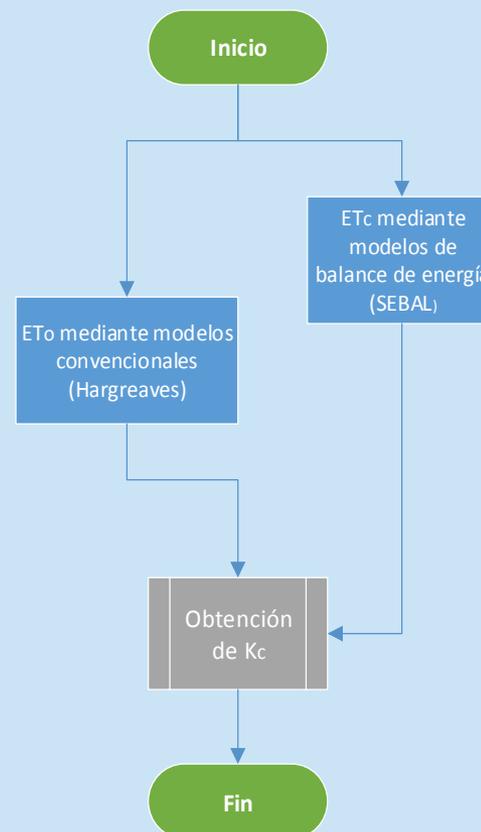
Elementos de la metodología:

- › Zona de estudio
- › Modelos de balance de energía
 - › Metodología SEBAL para estimar ETC
- › Modelo de evapotranspiración de referencia ETo
- › Coeficiente de cultivo Kc

Se divide en dos partes, la primera es estimar mediante modelos de balance de energía a ETC y la segunda en estimar ETo con métodos convencionales.

Una representación esquemática del flujo de trabajo para la obtención de los valores de evapotranspiración de cultivo se muestra en la figura 2.

Figura 2. Esquema general de la metodología



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 3. Se trata de los módulos de Santa Rosa y Batequis, los cuales fueron considerados en un polígono de 22,142 hectáreas.

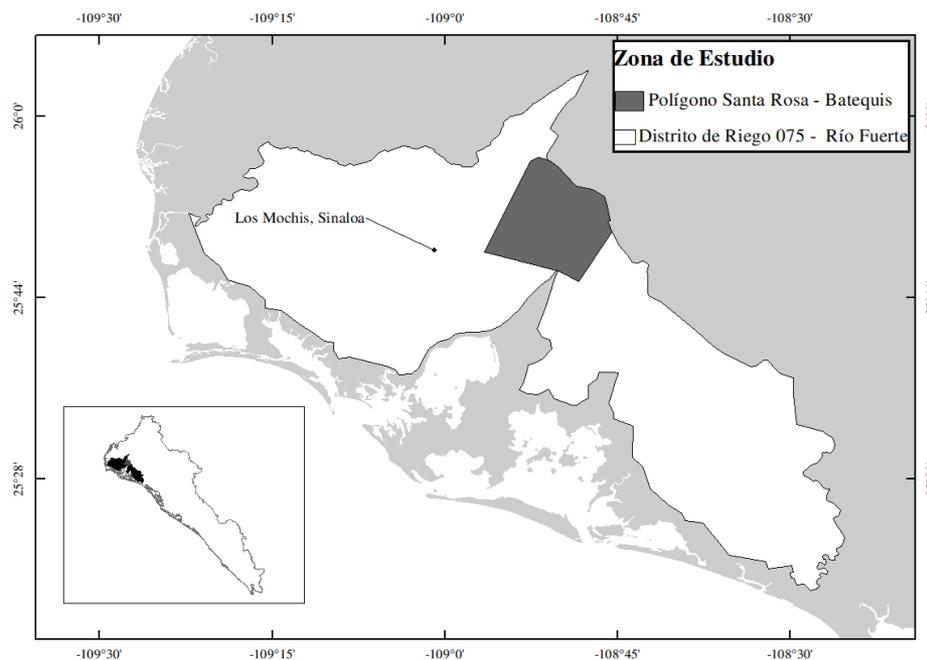


Figura 3. Ubicación de la zona de estudio.

Modelos de balance de energía

Son modelos físicos basados en la interacción de la energía proveniente del sol con la superficie terrestre, la ecuación general del balance de energía en la superficie es:

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

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

Diversos métodos han sido desarrollados, algunos ejemplos entre otros son:

- SEBAL (*Surface Energy Balance at Land*, Bastiaanssen, 1995)
- METRIC (*Mapping Evapotranspiration with Internilized Calibration* , Allen, 2007)
- ReSET (*Remote Sensing Evapotranspiration*, Elhaddad y Garcia, 2008)

Estimación de ETc por el método SEBAL

Surface Energy Balance at Land, es un modelo para estimar la ETc, desarrollado por Bastiaanssen (1995), se aplica a imágenes satelitales *LANDSAT*, con amplia aceptación (i.e. Kiptala et al., 2013; Li et al., 2013), resuelve la ecuación de balance de energía para λET

- › Resolver la ecuación de balance de radiación de la superficie para R_n

$$R_n = (1 - a)R_{S\downarrow} + (R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow}) - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} [W/m^2]$$

Dónde: a es el albedo, $R_{S\downarrow}$ es la radiación de onda corta y $R_{L\downarrow}$ y $R_{L\uparrow}$ es la radiación de onda larga entrante y saliente, ε_0 la emisividad.

- › Obtener los valores del flujo de calor del suelo G

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

Dónde: T_s es la temperatura de la superficie y $NDVI$ es el índice de vegetación de diferencia normalizada.

- › Obtener los valores del flujo de calor sensible H

$$H = \frac{\rho_a c_p \delta T_a}{r_{ah}} [W/m^2]$$

Dónde: ρ_a es la densidad del aire [Kg/m^3], c_p es el calor específico del aire [$1004 J/kg/K$], δT_a es la diferencia de temperaturas entre 0.1 y 2 m [K], r_{ah} es la resistencia aerodinámica al transporte de calor [s/m].

- › Resolver la ecuación de balance para λET

$$ET_{inst} = (R_n - G - H) / \lambda [mm/hr]$$

Dónde: λ es el calor latente de vaporización del agua [J/kg].

- › Obtener los valores de ET

$$ET = ET_{inst} * N [mm/día]$$

Dónde: N es el número de horas sol en el día correspondiente [hr/día].

Evapotranspiración de referencia ET_0 de Hargreaves

Estima la evapotranspiración de referencia (ET_0) mediante información climatológica. El modelo fue planteado por los autores Hargreaves y Samani en 1985, y ha sido utilizado con bastante frecuencia sobre todo en regiones con escasa disponibilidad de datos climáticos.

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

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,

$$TD = T_{max} - T_{min} [°C]$$

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 (Allen et al., 1998).

$$ET_c = K_c * ET_o \text{ [mm/día]}$$

Tomando en cuenta a la ET obtenida con el método SEBAL como la evapotranspiración del cultivo y a la evapotranspiración de referencia como la ET_o de Hargreaves.

$$K_c = \frac{ET_{c,SEBAL}}{ET_{0,Har}} \text{ [adimensional]}$$

Estimación de ET_c mediante el método SEBAL

- › Para cada fecha 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).
- › Se clasificó los valores de ET_c en intervalos de 1 (mm/día) para las 4 imágenes (Fig.4).
- › Se observó que los valores máximos de ET corresponden a las zonas de cultivo y/o con presencia de vegetación (fig.4).

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

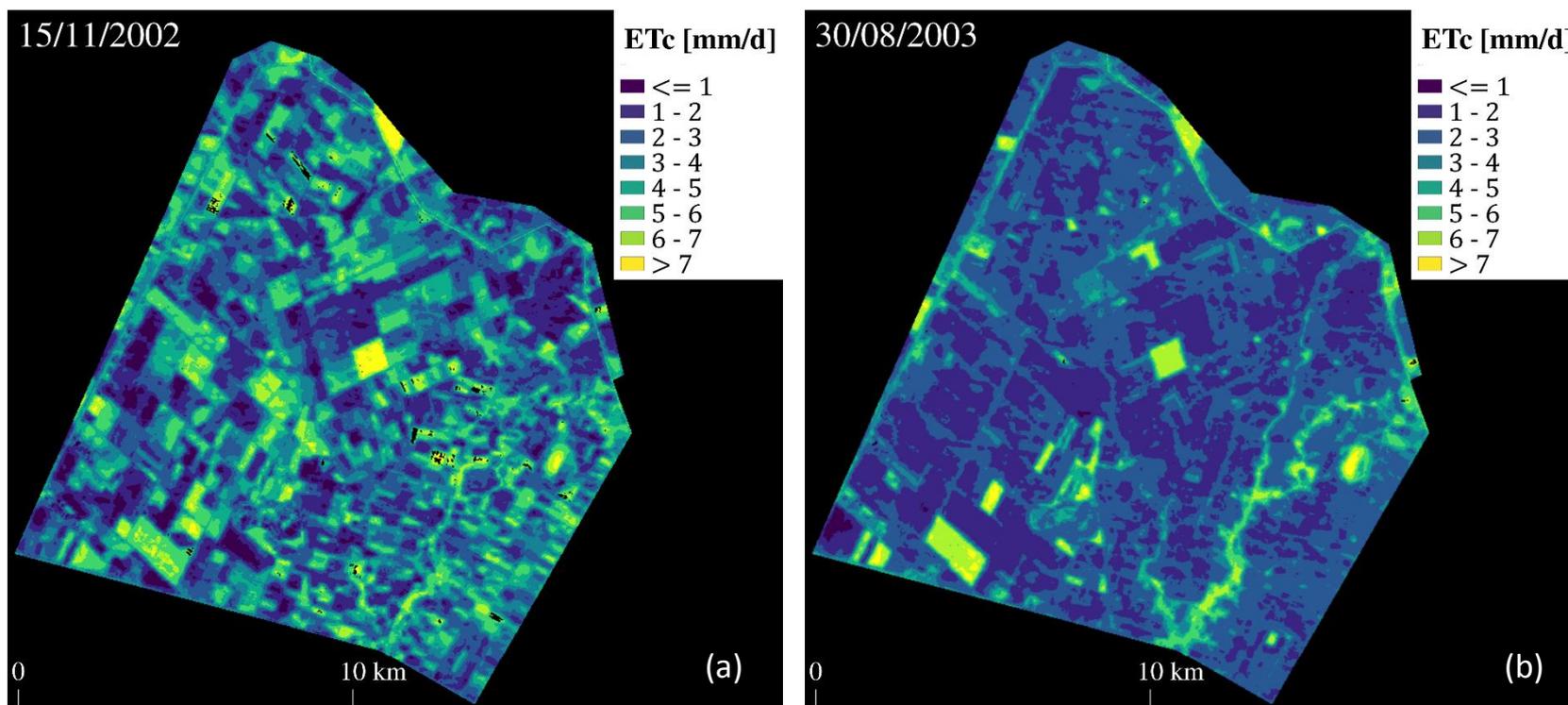


Figura 4. Valores de ET_c diarios calculados mediante el modelo SEBAL utilizando imágenes LANDSAT 5: (a) 15/Nov/2002. (b) 30/Ago/2003.

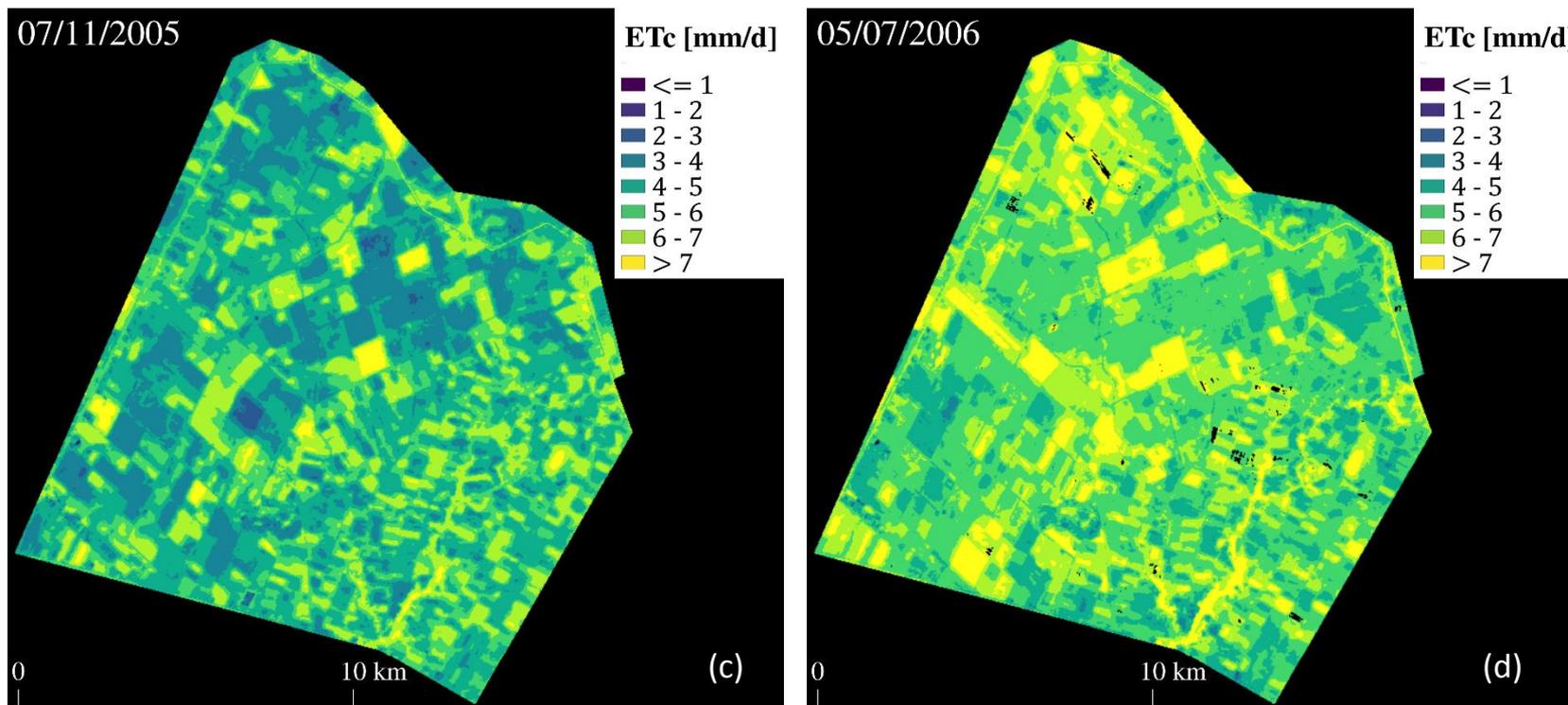


Figura 4. Valores de ET_c diarios calculados mediante el modelo SEBAL utilizando imágenes LANDSAT 5: (c) 7/Nov/2005. (d) 5/Jul/2006.

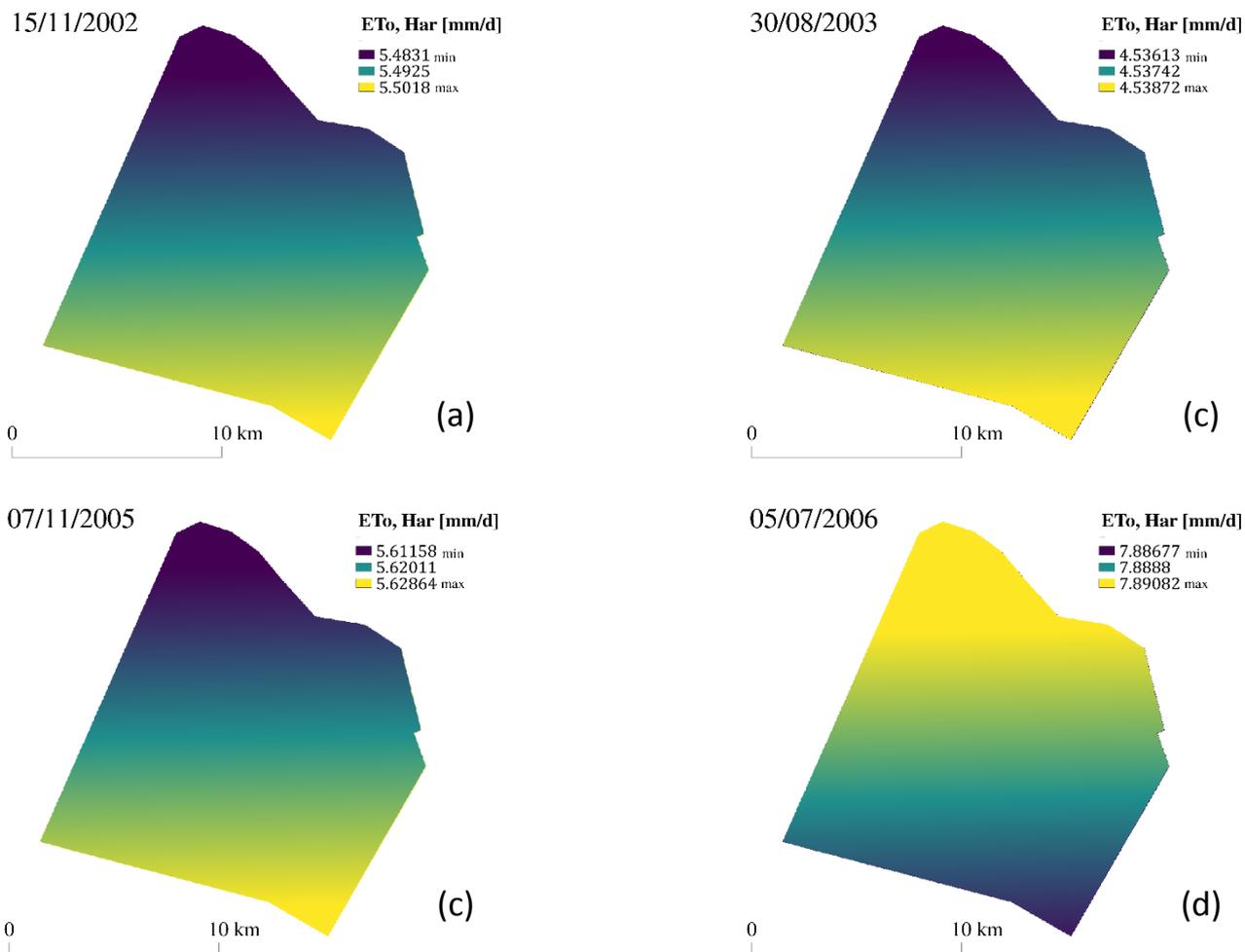


Figura 5. ET_0 de Hargreaves diaria calculada para: (a) 15/Nov/2002. (b) 30/Ago/2003 (c) 7/Nov/2005 (d) 5/Jul/2006.

Coeficiente de cultivo (K_c)

- › Se clasificaron los valores de K_c en intervalos de 0.1 para las 4 imágenes (Fig.7)
- › Independientemente del tipo de cultivo, se observa que la distribución de los valores $K_c > 0.5$ corresponden a las áreas cultivadas o con vegetación.
- › No fue posible ofrecer una identificación de la etapa fenológica en que los cultivos se encontraban.

Comparación de K_c para las imágenes seleccionadas



Figura 6. Estadísticas de los valores obtenidos de K_c

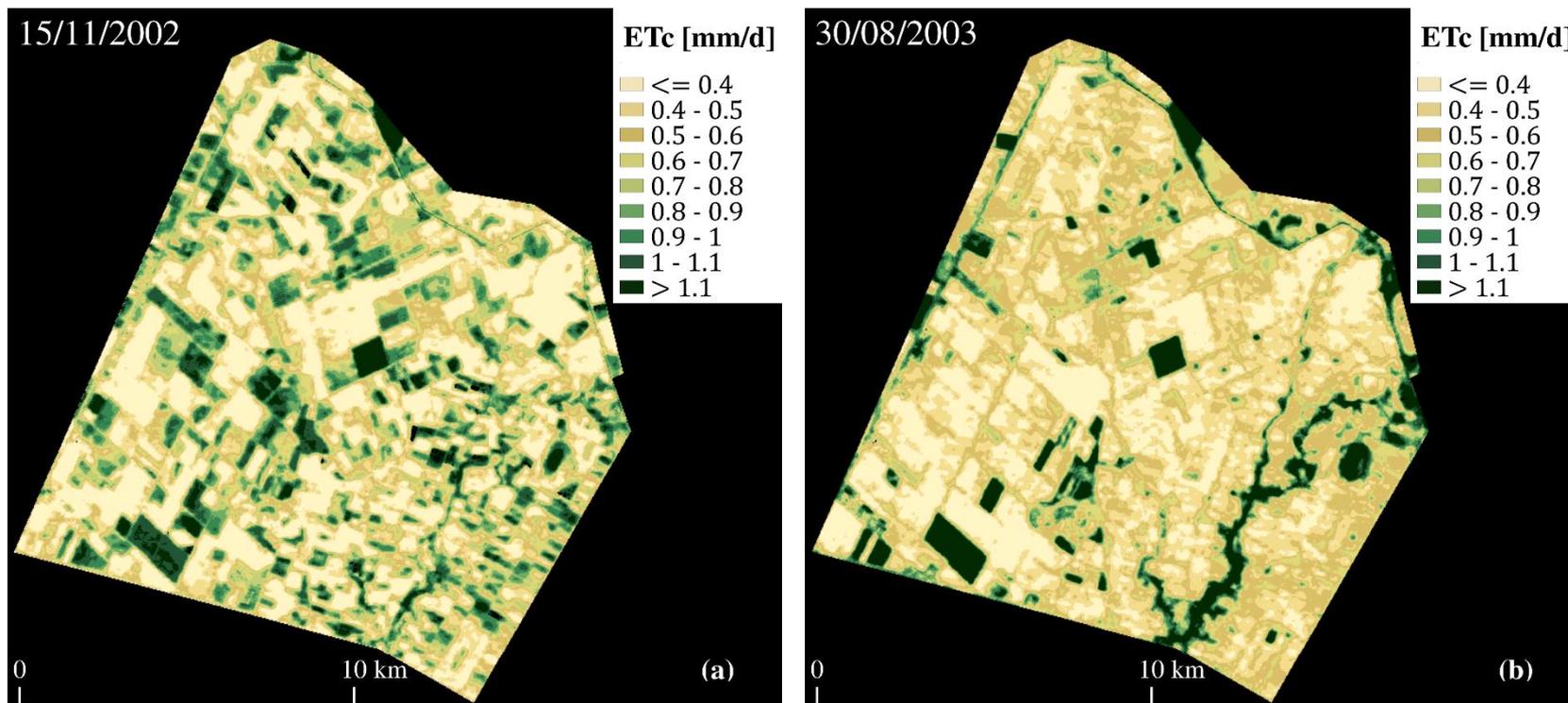
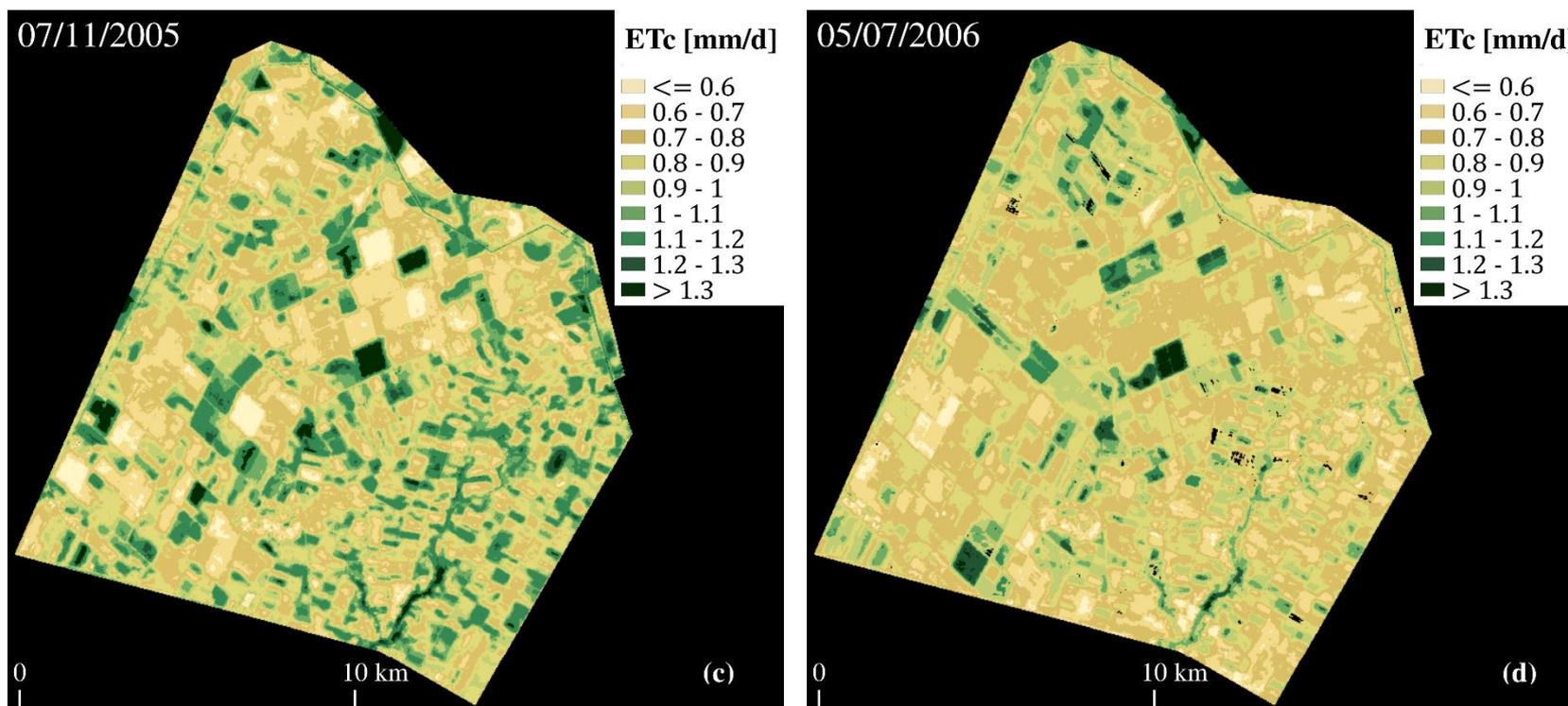


Figura 7. Distribución espacial de los valores de K_c calculada para: (a) 15/Nov/2002, (b) 30/Ago/2003.



*Figura 7. Distribución espacial de los valores de K_c calculada para:
(c) 07/Nov/2005. (d) 05/Jul/2006..*

- › El modelo de balance de energía SEBAL permitió estimar los valores de ETC para la zona de estudio a una **resolución espacial de 30 m**, lo cual posibilitaría visualizar la distribución espacial de los **requerimientos hídricos de los cultivos con mayor precisión**.
- › A partir de las estimaciones de la evapotranspiración de cultivo (ETc) es posible contar con la distribución espacial de los valores del coeficiente de cultivo (Kc) en cualquier punto en las zonas de cultivo, de esta manera **es posible identificar las zonas con mayor y menor requerimiento hídrico** con el objetivo de hacer un uso más eficiente del recurso hídrico.
- › Conocer la distribución de la ETc 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.



Gracias



Braulio Vázquez Rodríguez

**Posgrado del Instituto Mexicano de Tecnología
del Agua**

b_v_r@outlook.com

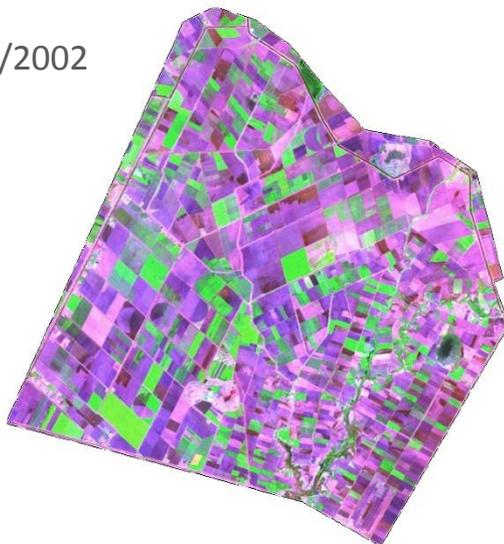
www.comeii.com/comeii2017

  @CongresoCOMEII

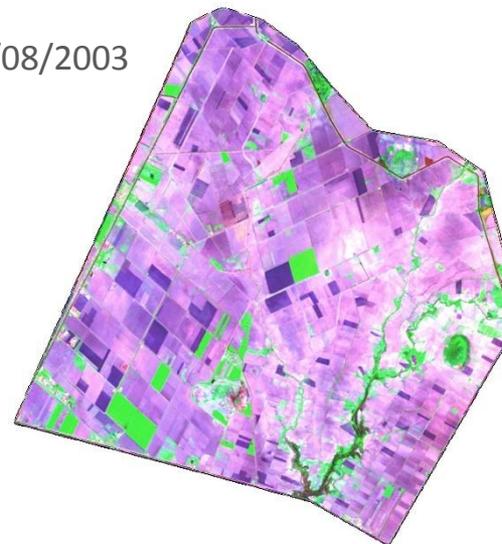
 info@comeii.com

Imágenes satelitales sin el procesamiento

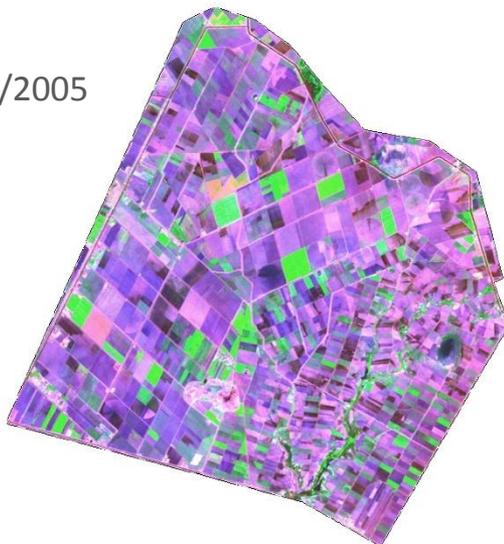
15/11/2002



30/08/2003



07/11/2005



05/07/2006

