

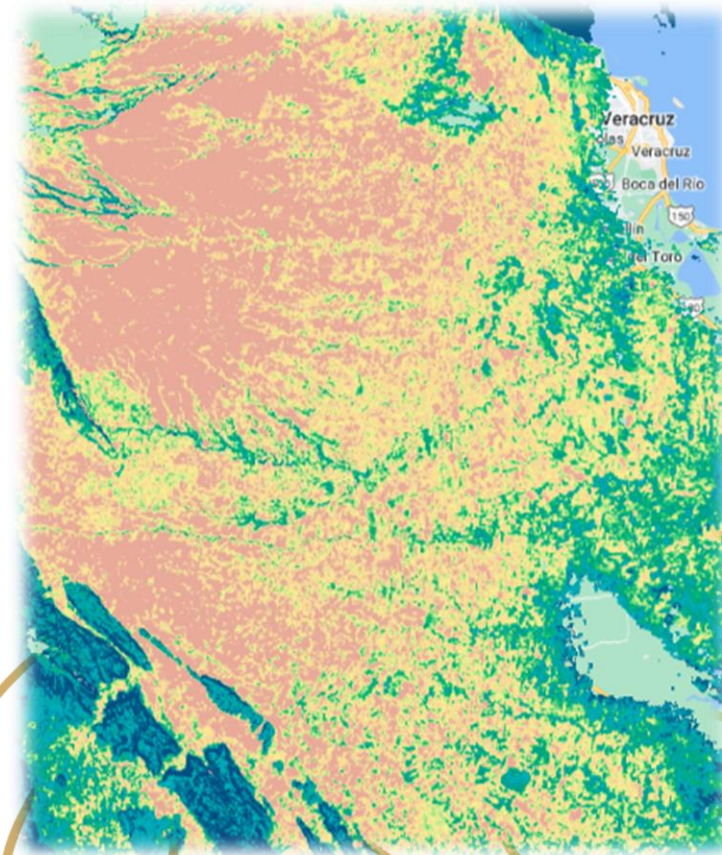


**VIII** Congreso Nacional y  
**I** Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO DEL TRIGO USADO IMÁGENES SATELITALES

Mariana de Jesús Marcial Pablo  
Sergio Iván Jiménez Jiménez  
Fernando Cabrera Carbajal  
Ernesto Sifuentes Ibarra  
Jaime Macías-Cervantes



Fecha de presentación: 04 de octubre 2023



## Introducción

El trigo es el cereal más cultivado alrededor del mundo, debido a su alto valor económico y nutricional, monitorear el crecimiento del cultivo de trigo, los parámetros biofísicos del dosel y los parámetros de rendimiento durante la temporada de desarrollo es esencial para decisiones de gestión agrícola (Magney et al., 2016). El trigo es el segundo cereal en importancia en México su producción total supera los 3 millones de toneladas, su principal productor es el estado de Sonora con una producción de 55.9% de total nacional (SIAP, 2023).

Con el aumento de la escasez de agua, se emplean varios patrones de riego de ahorro de agua en el trigo; diferentes métodos de riego y programación de riego regulan la fisiología del trigo en diferentes aspectos que causan impactos en el crecimiento del cultivo y la utilización del agua.





## Introducción

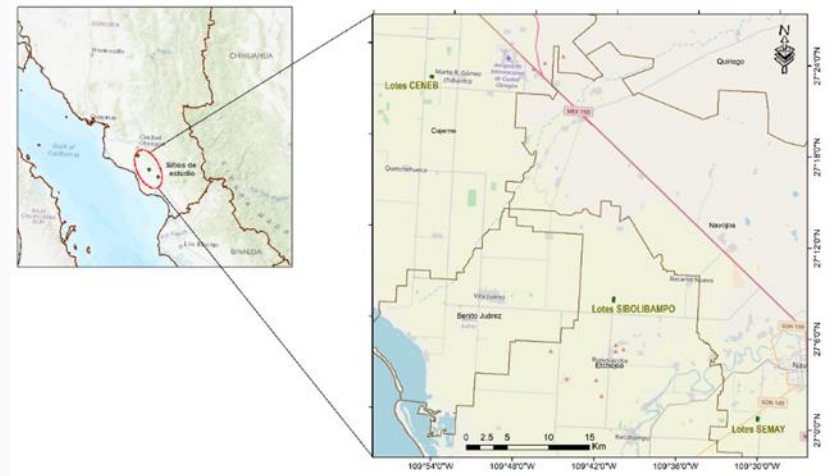
La determinación de la evapotranspiración (ETc) real del cultivo durante la temporada de crecimiento tiene una ventaja potencial para lograr una programación de riego adecuada. Desarrollar y evaluar métodos precisos de medición/estimación de la evapotranspiración real de los cultivos es importante para la gestión del agua de riego de los agricultores y administradores del agua, además permite el cálculo de índices de eficiencia del uso del riego. La estimación de la evapotranspiración (ETc) basada en el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) es uno de los métodos más utilizados para la gestión del agua de riego a escala de campo.

Para la gestión del riego, las imágenes satelitales proporcionan un medio excelente para determinar y mapear el  $K_c$  y ETc espacial y temporalmente, al proporcionar estimaciones de la  $K_c$  y ETc para grandes zonas agrícolas utilizando una cantidad mínima de datos terrestres se tienen un gran potencial para mejorar la gestión del riego. El objetivo específico de este estudio es determinar el  $K_c$  del trigo en función de los índices de vegetación, considerando las etapas fenológicas y adicionalmente estimar el ETc a partir del geeSEBAL de un sitio experimental.

# Materiales y Métodos

## Sitio de estudio y manejo del cultivo

El estudio se realizó durante el ciclo otoño-invierno (OI) 2022-2023 en tres sitios experimentales en el Estado de Sonora; el primer sitio de estudio pertenece a las parcelas del CENEB del INIFAP; el segundo corresponde a las parcelas ubicada en la localidad de Sibolibampo. El ultimo pertenece a las parcelas del SEMAY.



El cultivo del trigo de la variedad Don Lupe se establecieron para las parcelas de CENEB el 18 de diciembre, para Sibolibampo el 22 de noviembre y para SEMAY el 01 de diciembre; con una densidad de siembra de 80 kg de semillas/ha Los tratamientos de riego por gravedad evaluados fueron: 4 auxilios (4a), 3 auxilios (3a) y 2 auxilios (2a).

## Coeficiente de cultivo con IRRIMODEL

El IRRIMODEL calcula los datos de  $K_c$  calibrados para el trigo mediante los datos de campo, utilizando la metodología propuesta por Ojeda et al. (2006), en el cual el  $K_c$  del día  $n$  está en función de los días grado crecimiento acumulados  $X_n$ .

Los datos de temperatura se obtuvieron de las estaciones: Block 910 (Ciano), Block 1936 Sibolibampo y SEMAY de La Red de Estaciones Meteorológicas Automatizadas de Sonora (REMAS SIAFESON) de la parcela. Las temperaturas de desarrollo del trigo usadas para calcular los  $^{\circ}D_i$ , fueron de 4.44 y 27.2°C.

$$K_{c_n} = K_{\max} \operatorname{erfc} \left( \left( \frac{X_n - X_{K_{\max}}}{\alpha_1} \right)^2 \right)$$

$$X_n = \frac{\text{GDD}_n}{\alpha_0}$$

$$^{\circ}D_i = T_a - T_{\min} \text{ si } T_a < T_{\max}$$

$$^{\circ}D_i = T_{\max} - T_{\min} \text{ si } T_a \geq T_{\max}$$

$$^{\circ}D_i = 0 \text{ si } T_a \leq T_{\min}$$

## Desarrollo IV-KC

Los valores de los IV se obtuvieron automáticamente dentro de la herramienta VICAL (Vegetation Index Calculator, Jiménez-Jiménez et al., 2022) que a su vez se encuentra soportada por la plataforma Google Earth Engine (GEE). Dentro de VICAL se agregó el URL del archivo vector de los tres sitios de estudio y se calcularon los índices de vegetación (IV) con imágenes Sentinel-2 (10 m de resolución), para cada caso. Los datos se adquirieron desde la siembra (noviembre - diciembre del 2022) hasta la madurez fisiológica (mayo del 2023).

Se relacionaron los valores de Kc obtenidos de programa IRRIMODEL con los valores de índices de vegetación, para obtener una ecuación que estime los valores de Kc en función de IV.

Para este estudio se emplearon cuatro índices de vegetación (IV).

Indices de vegetation	Formula	Referencia
EVI	$2.5 \left( \frac{NIR - R}{NIR + C_1 R - C_2 B + L} \right)$ $C_1=6.0, C_2= 7.5; L=1.0$	Huete et al., 2002
EVI2	$2.5 \left( \frac{NIR - R}{NIR + C_1 R + 1} \right)$ $C_1= 2.4$	Jiang et al., 2008
NDVI	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	Rouse et al., 1973
WDRVI	$\frac{\alpha NIR - R}{\alpha NIR + R}$ $\alpha=0.2$	Gitelson , 2004

# Earth Engine Apps

Search places

### VICAL: VEGETATION INDICES CALCULATOR

[How to use this tool?](#) [About VICAL](#)

Contact - jimenez.sergio@inifap.gob.mx

**Start and End date**

2022-11-22 2023-05-03

Cloudy Pixel Percentage: 30

**Select satellite and Vegetation Index**

2. SENTINEL-2 ?

5. EVI2 ?

Statistical values: 1. None ?

**Optional configuration**

Settings: EVI2

C1: 2.4

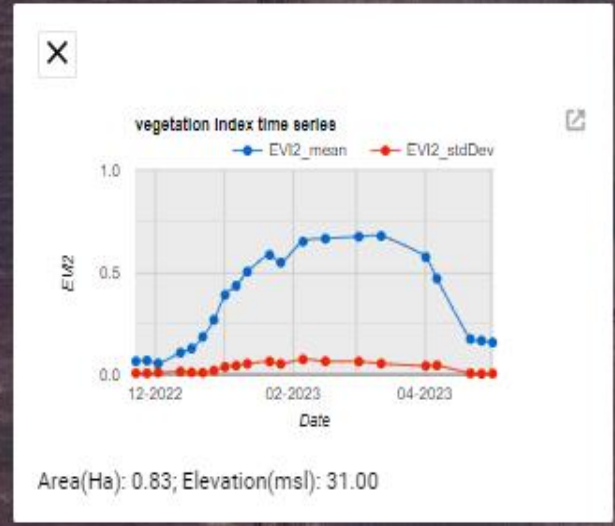
Use vector file from GEE

URL GEE (Table ID): users/MarianaMP547/Lo

regression map 1. Lineal ( $Y = a*VI + b$ )

Filter images covering the entire polygon

Calculate the weighting factor ?



## Evapotranspiración

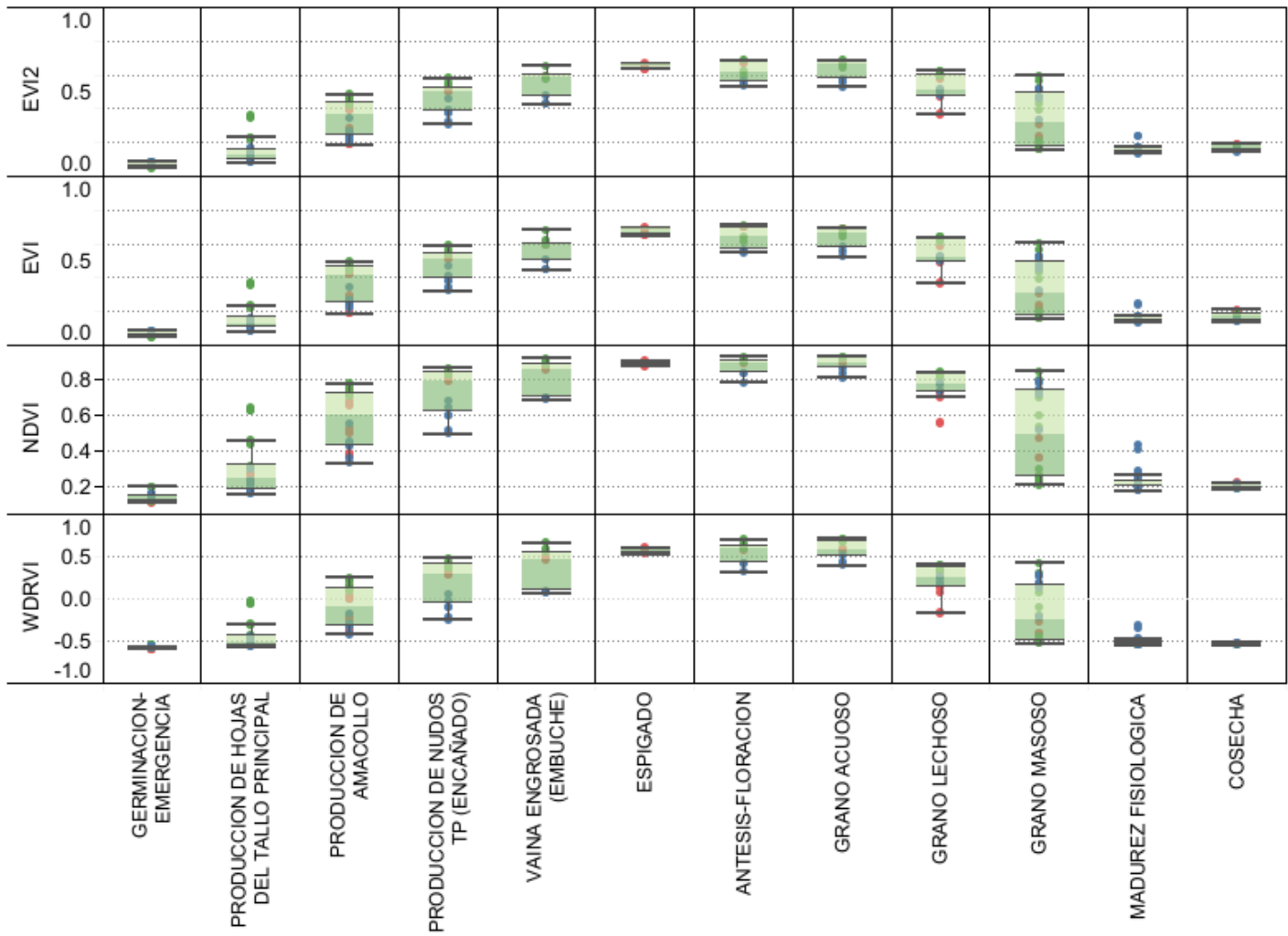
La evapotranspiración del cultivo (ETc) se obtuvo bajo dos enfoques. En el primer enfoque la ETc se estimó mediante la combinación de una evapotranspiración de referencia (ETo) y un coeficiente de cultivo (Kc). La ETo se obtuvo con el método de FAO Penman-Monteith se ha convertido en un método estándar internacional para la ETo.

Los modelos de evapotranspiración basados en sensores remotos han sido una alternativa para calcular la ET para múltiples escalas temporales y espaciales con estimaciones consistentes a nivel de píxeles e imágenes. Para el segundo enfoque, se modificó el código GEEsebal (Laipelt et al., 2021) para obtener la ETc usando el modelo SEBAL con imágenes Landsat (30 m de resolución) para incorporar datos de reanálisis NLDAS (North American Land Data Assimilation System phase 2).

RMSE  
MAE



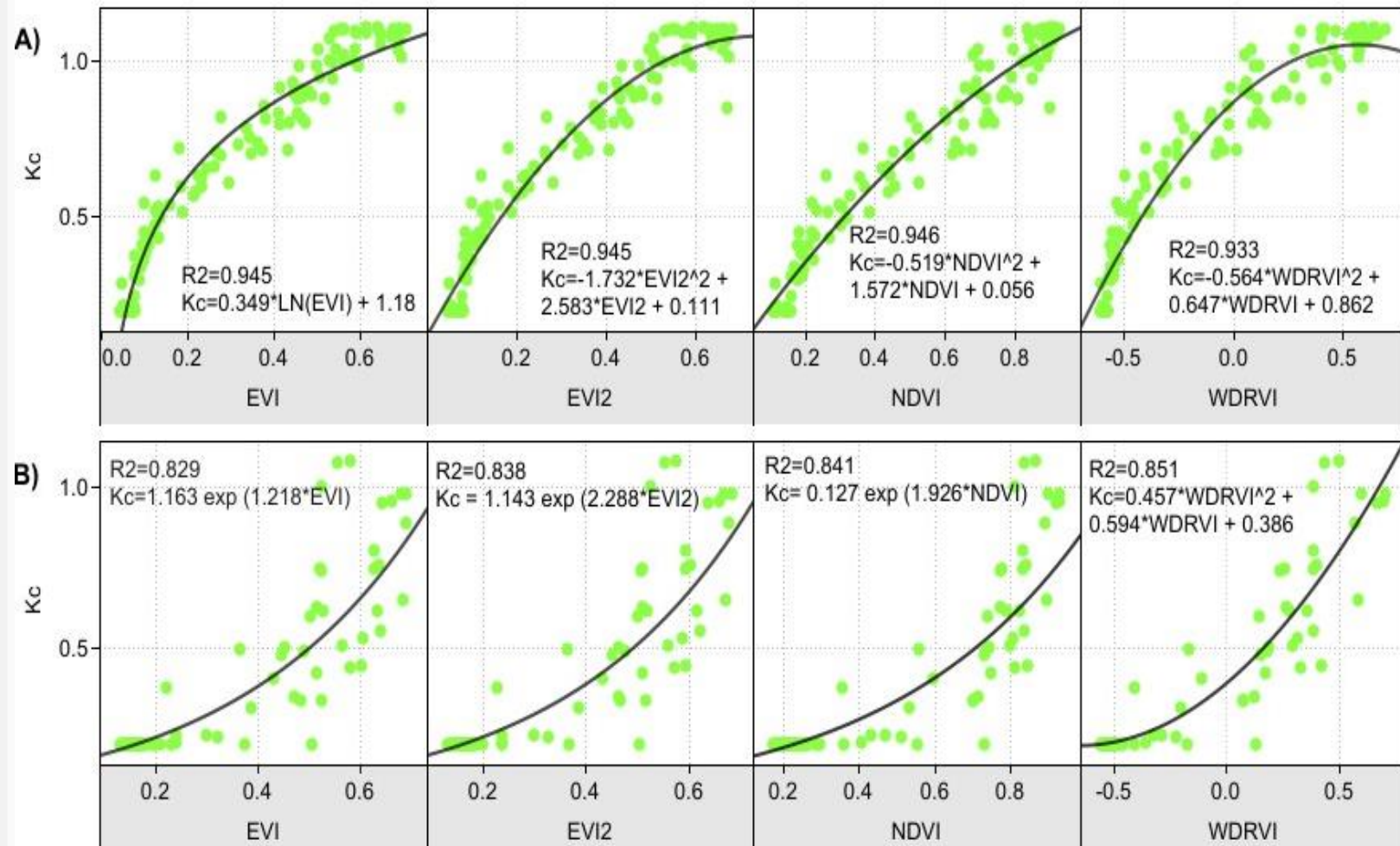
# Resultados y discusión



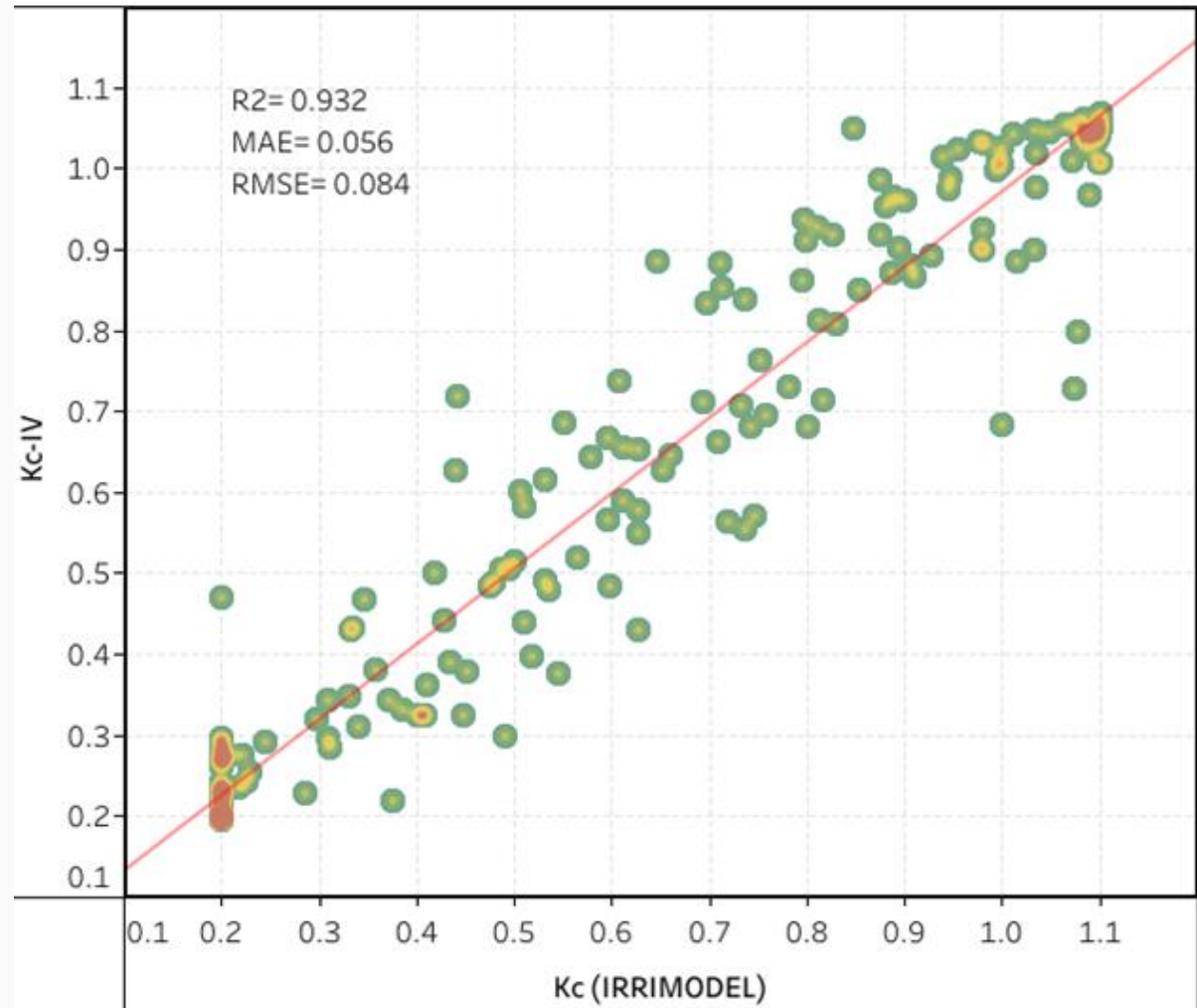
Muestra la distribución general de los IV durante las etapas fenológicas del trigo; los valores máximos de los IV se presentan en las etapas de espigado y antesis-floración. Las variaciones entre los valores de los IV se presentan principalmente en la etapa de producción de amacollo y grano masoso; lo que indica que en estas etapas es más notoria las condiciones de manejo del cultivo a partir de análisis con IV

## Relación IV-KC

Para aumentar la relación entre IV-Kc se obtuvieron dos funciones; en la primera función se consideran los valores obtenidos de la etapa de germinación-emergencia hasta la etapa de antesis-floración con un  $R^2$  mayor a 0.9 para todos los índices analizados. Para la segunda función se incluye la etapa de grano acuoso hasta la cosecha con un  $R^2$  mayor a 0.8.

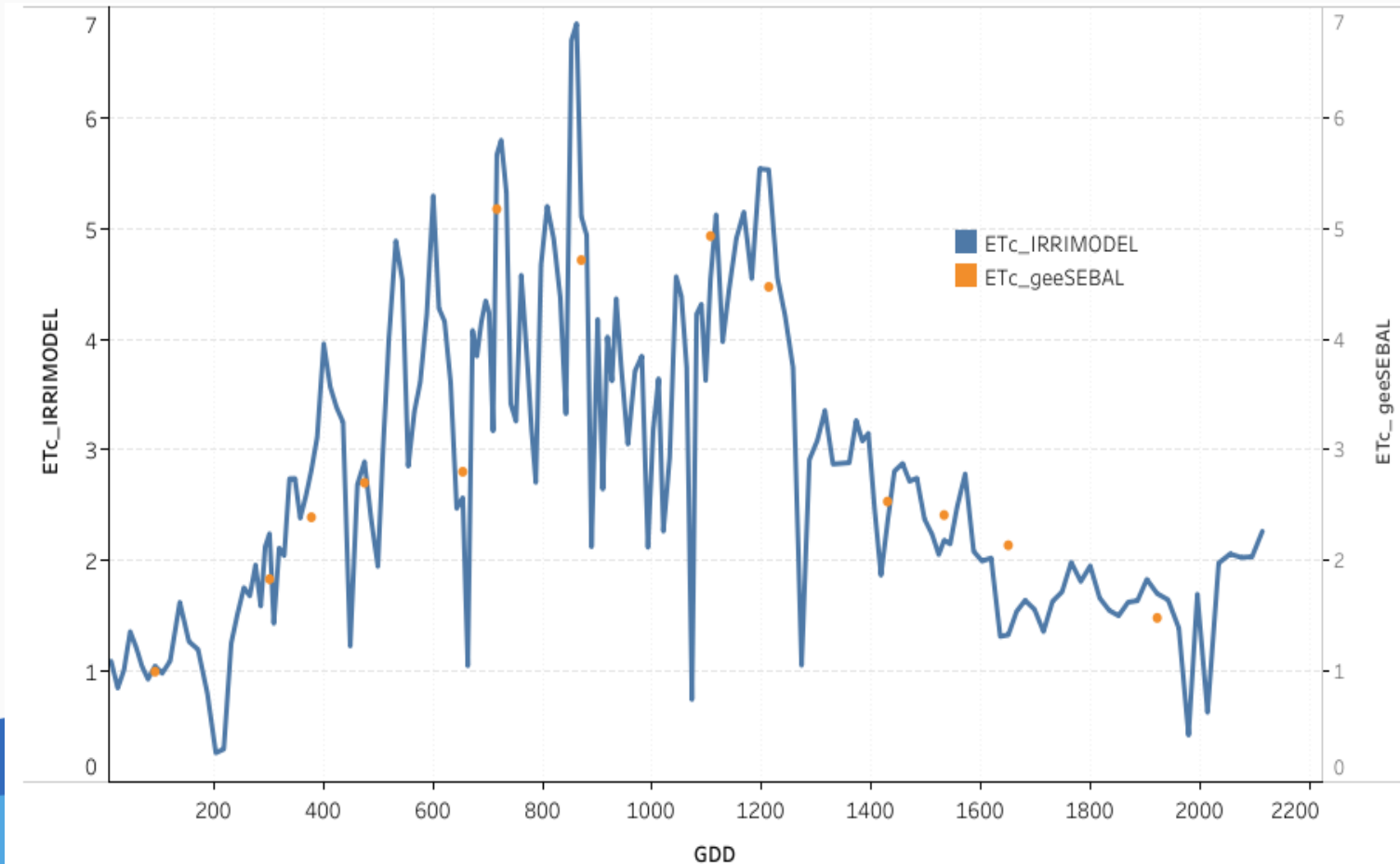


Los resultados de la relación entre los valores de Kc medidos con el IRRIMODEL y estimados con los IV presentaron  $R^2$  de 0.932, RMSE de 0.084 y un MAE de 0.056, donde los valores de Kc-IV se subestiman menos de 2%.



## Evapotranspiración

Para este análisis se comparó la ETC a partir del IRRIMODEL contra la ETC estimada con la herramienta geeSEBAL para el sitio de Sibolibampo. Se observe que el mayor número de datos generados con geeSEBAL (Laipelt et al., 2021) se subestiman, con un RMSE de 0.472 y un MAE de 0.392.



## Conclusiones

Al separar las funciones a partir de las etapas fenológicas se obtiene una mejor correlación entre el  $K_c$  y los IV; para la primera función la mayor relación se obtiene con el NDVI y la segunda función con el WDRVI, obteniendo un mayor ajuste la primera función que considera la etapa de germinación-emergencia hasta la etapa de antesis-floración con un  $R^2$  mayor a 0.9. A partir de la relación  $K_c$ -IV se determinan los valores de  $K_c$  que se subestiman en menos de 2% con respecto  $K_c$  medido con el IRRIMODEL. Además, con las plataformas tecnológicas como el Google Earth Engine se puede obtener variables como la ETC.





## Referencias Bibliográficas

- Chen, J. M., & Liu, J. (2020). Evolution of evapotranspiration models using thermal and shortwave remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111594.
- Gitelson, A. A. (2004). Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. *Journal of plant physiology*, 161(2), 165-173.
- Hadadi, F., Moazenzadeh, R., & Mohammadi, B. (2022). Estimation of actual evapotranspiration: A novel hybrid method based on remote sensing and artificial intelligence. *Journal of Hydrology*, 609, 127774.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., & Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote sensing of Environment*, 112(10), 3833-3845.
- Jiménez-Jiménez, S. I., Marcial-Pablo, M. D. J., Ojeda-Bustamante, W., Sifuentes-Ibarra, E., Inzunza-Ibarra, M. A., & Sánchez-Cohen, I. (2022). VICAL: Global Calculator to Estimate Vegetation Indices for Agricultural Areas with Landsat and Sentinel-2 Data. *Agronomy*, 12(7), 1518.
- Laipelt, L., Kayser, R. H. B., Fleischmann, A. S., Ruhoff, A., Bastiaanssen, W., Erickson, T. A., & Melton, F. (2021). Long-term monitoring of evapotranspiration using the SEBAL algorithm and Google Earth Engine cloud computing. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 178, 81-96.
- Magney, T. S., Eitel, J. U., Huggins, D. R., & Vierling, L. A. (2016). Proximal NDVI derived phenology improves in-season predictions of wheat quantity and quality. *Agricultural and Forest Meteorology*, 217, 46-60.
- Ojeda Bustamante, W., Sifuentes Ibarra, E., & Unland Weiss, H. (2006). Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México.
- Pereira, L. S., Allen, R. G., Smith, M., & Raes, D. (2014). Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. *Agricultural Water Management*, 147, 4-20.



**VIII** Congreso Nacional y  
**I** Congreso Internacional  
de Riego, Drenaje y Biosistemas  
COMEI - UAAAN 2023 | Saltillo, Coahuila  
4 al 6 octubre 2023



# GRACIAS!

[marianamp547@gmail.com](mailto:marianamp547@gmail.com)

[marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx](mailto:marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx)

Fecha de presentación: 04 de octubre 2023

