

Uso de sensoría remota para la determinación del Kc del cultivo de higo

Karla Janeth Martínez-Macias¹
Sellenne Yuridia Márquez-Guerrero^{1,§}
Jorge Arnaldo Orozco-Vidal¹
Arturo Reyes-González²

1 División de Estudios de Posgrado-Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón, Coahuila, México. CP. 27170.

2 Campo Experimental La Laguna-INIFAP. Blvd. José Santos Valdez Núm. 1200 Pte. Col Centro, Matamoros, Coahuila, México.

Autor para correspondencia: sellenne.marquez@hotmail.com.

Resumen

El cultivo de higo se ha introducido como una alternativa frutícola potencial en nuestro país. Sin embargo, existe poca información referente al manejo eficiente del cultivo de higo, como el coeficiente del cultivo, el cuál es de gran importancia para la programación del riego eficiente; a través, de láminas de riego que proporcionen al cultivo el requerimiento de agua para su producción. A través, de imágenes de satélite, el índice de vegetación de diferencia normalizada y el coeficiente del cultivo de referencia, se determinó una ecuación de coeficiente del cultivo para el cultivo de higo con facultad de aportar información técnica para los programas de riego.

Palabras clave:

Ficus carica L., coeficiente de cultivo (Kc), imágenes de satélite.



La complejidad que presentan los problemas ambientales actuales cómo, el cambio climático, la deforestación, degradación del suelo, escasez de agua, entre otros, demandan el uso de técnicas y herramientas geoespaciales como los sistemas de información geográfica (SIG) (Bautista *et al.*, 2011), que son un conjunto de software y hardware diseñados para leer, editar, almacenar, gestionar y analizar datos; los cuales se representan a través de mapas, gráficos, informes, etc. (Olaya, 2014).

Los SIG, se han convertido en una herramienta importante para investigadores y profesionistas, que requieren del manejo de bases de datos, relacionadas con diversos niveles de agregación espacial o territorial (IIRBAVH, 2006), como lo es, el sector agrícola. La agricultura de precisión integra diversas tecnologías de información espacial al reconocer, localizar, cuantificar y registrar variabilidad espacial y temporal de una unidad agrícola, optimizando la productividad de los cultivos mejorando las decisiones agronómicas de diferentes cultivos para cada sitio específico (Lizarazo-Salcedo y Alfonso-Carbajal, 2011).

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), por sus siglas en inglés, es un modelo utilizado universalmente para el monitoreo de vegetación en diferentes ambientes, emplea una combinación de valores de reflectancia con gran sensibilidad en cambios de vegetación y baja sensibilidad a otro tipo de información.

El NDVI se obtiene a partir de la relación de la reflectancia del rojo y del infrarrojo cercano, reflejadas por la vegetación captada por el sensor del satélite; los valores varían de +1 a -1. Valores de 0.1 corresponden a áreas rocosas, arenosas o nevadas, de 0.2 a 0.3 corresponden a áreas con arbustos, praderas o pasturas naturales, mientras que valores mayores de 0.6 indican bosques templados o tropicales; es decir, los valores más altos son para la vegetación más densa y con mayor actividad fotosintética, mientras que valores más bajos para poca vegetación, por lo que se considera un estimador de la cantidad de biomasa y de las necesidades hídricas de los cultivos (Aguilar *et al.*, 2010; Reyes-González *et al.*, 2018; Rueda-Calier *et al.*, 2019).

Para estimar las necesidades hídricas de un cultivo específico, se utiliza el coeficiente del cultivo (Kc) y la evapotranspiración de referencia, es por esto que este método ayuda a planificar y manejar ¿cuándo? y ¿cuánta? agua se debe utilizar para el riego de manera prospectiva, proyectiva y en tiempo real (Zamora-Herrera *et al.*, 2014; Herrera-Puebla *et al.*, 2015). La higuera es originaria de la región mediterránea, es tolerante a sequías, soporta niveles altos de sales y se adapta a suelos poco fértiles, ofreciendo ventajas en su producción en regiones áridas y semiáridas (Von Lineo, 1753; Peraza-Padilla *et al.*, 2013).

El higo, tiene una alta capacidad nutritiva, nutracéutica y antioxidante y puede ser consumida en fresco, deshidratada y procesada mínimamente (INTAGRI, 2020). Según datos de (FAOSTAT, 2020), en el año 2018 la producción mundial de higo superó el millón de toneladas, en donde Turquía fue el principal productor, con 270 000 t, mientras que México produjo 7 000 t año⁻¹, en una superficie de 1 340 ha (Márquez-Guerrero *et al.*, 2019), siendo Veracruz el estado con mayores rendimientos por hectárea (INTAGRI, 2020).

Debido a su versatilidad el cultivo de higo, se ha introducido como una alternativa frutícola sustentable en zonas áridas y semiáridas, de ahí su importancia en La Comarca Lagunera. Sin embargo, no se tiene información actualizada sobre el manejo intensivo del cultivo de higo, como la estimación del Kc, evapotranspiración (ET) y tratamientos de riego. Es de interés generar información técnica que soporte el manejo sustentable del cultivo con ayuda de los sistemas de información geográfica.

Sitio de experimentación

El trabajo de campo se realizó en el ejido El Vergel, en Gómez Palacio, Durango (25° 39' 16.679" latitud norte, -103° 30' 4.129"). Con clima Bw (h') hw (e), que corresponde a seco desértico cálido con régimen de lluvias en verano y oscilación extrema (Rosales-Serrano *et al.*, 2015), con rangos de temperatura que van desde los 4 °C hasta más de 30 °C y precipitación media anual de 250 mm concentrada de junio a septiembre (INEGI, 2017).

Imágenes satelitales

Se descargaron imágenes del satélite Sentinel-2 con un nivel de procesamiento 1C, de la página del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), por sus siglas en inglés, de enero del 2020 a noviembre de 2021. Las imágenes se llevaron a un nivel de procesamiento 2^{da}, con una corrección atmosférica DOS1, el software QGIS 3.20.

Cálculo de NDVI

Para el cálculo del NDVI se utilizó la fórmula descrita por Krtalic *et al.* (2019):

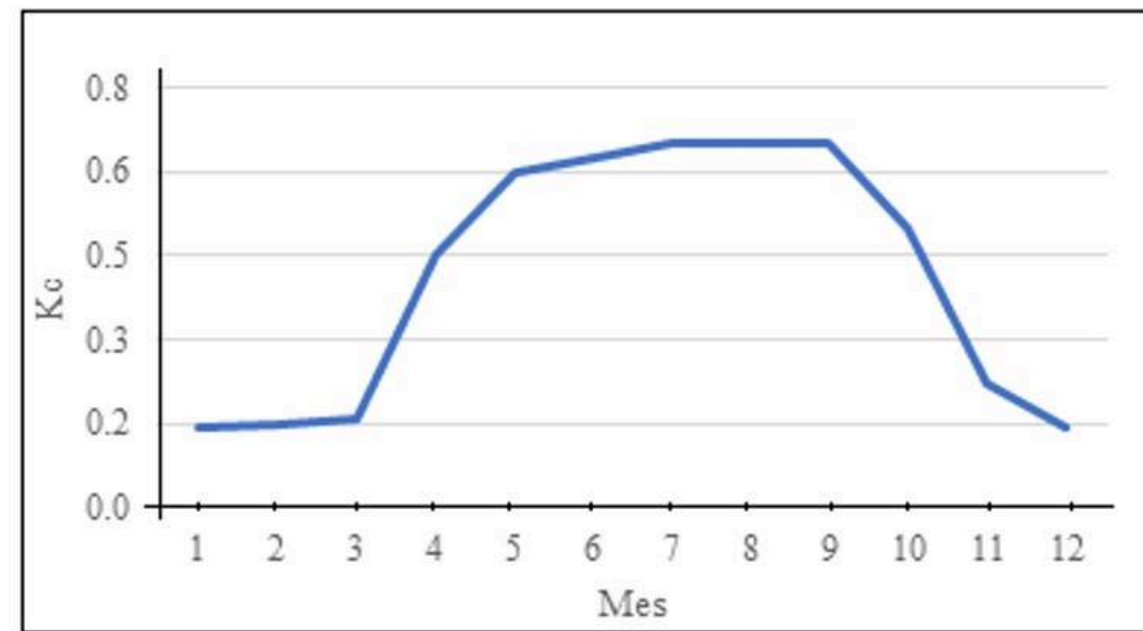
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Donde: NIR= infrarrojo cercano. RED= rojo. Para el satélite Sentinel-2 estas representan las bandas B8 para el infrarrojo cercano y B4 para el rojo.

Cálculo de Kc

El cálculo de Kc se realizó de acuerdo con la metodología de Reyes-González *et al.* (2020), donde se gráfica el NDVI contra el Kc de referencia del cultivo, obteniendo una ecuación que determina el Kc real del cultivo con base al NDVI. El Kc de referencia (Figura 1) se tomó del artículo de Rodríguez y Valdez (1999), donde estiman las necesidades hídricas de la higuera durante los años de 1996, 1997 y 1998, obteniendo el Kc mensual del cultivo.

Figura 1. Kc de referencia del cultivo de higo.



El Kc de referencia concuerda con las etapas fenológicas del cultivo de higo reportadas por Márquez-Guerrero (2019), las cuales son: noviembre (11), diciembre (12), enero (1): etapa de latencia. Febrero (2): poda. Marzo (3), abril (4): crecimiento vegetativo. Mayo (5): desarrollo de fruto y cosecha de breva. Junio (6): maduración del fruto. Julio (7), agosto (8): cosecha alta de fruto. Septiembre (9): cosecha media de fruto. Octubre (10): postcosecha.

Análisis de la información

Con el software ArcMap 10.3 se realizó la estimación del NDVI, para los años 2020 (Figura 2) y 2021 (Figura 3), tomando en cuenta dos parcelas cultivadas con higo, una parcela A, con 14 ha y riego por goteo y una parcela B, con 25 ha y riego por gravedad.

Figura 2. Resultados cualitativos de NDVI del año 2020 para la parcela A y la parcela B.

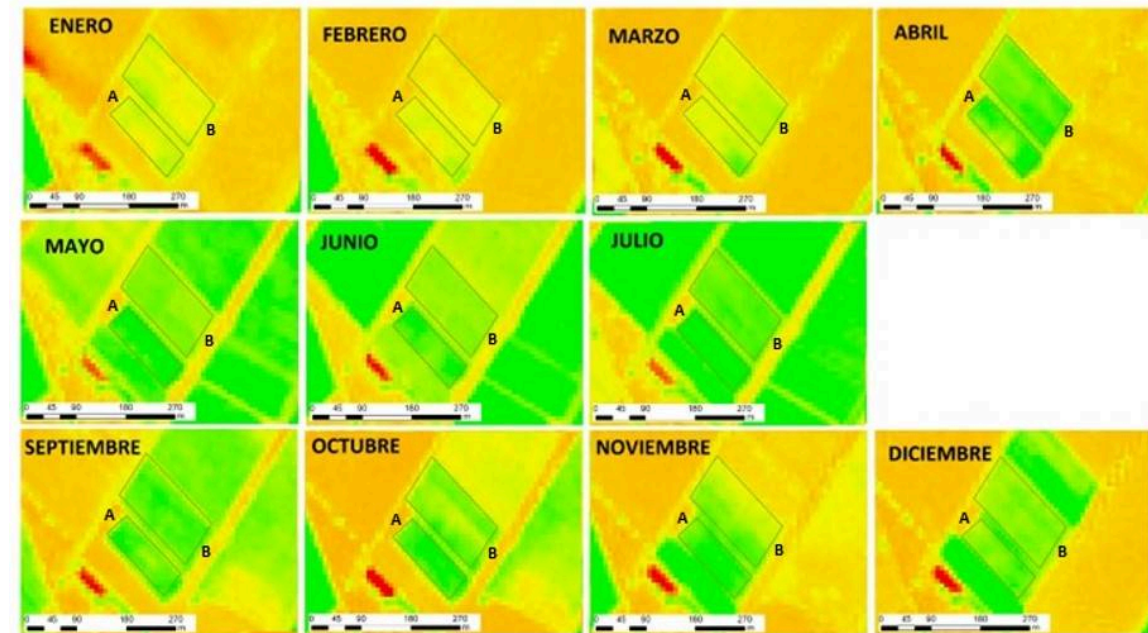
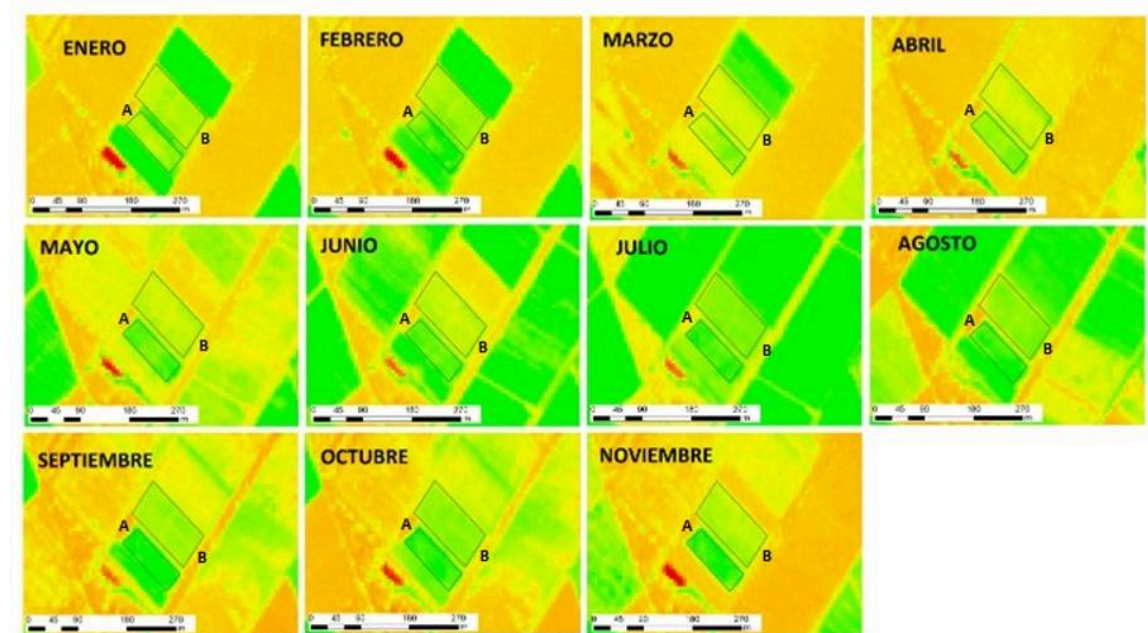


Figura 3. Resultados cualitativos de NDVI del año 2021 para la parcela A y la parcela B.



Considerando uniformidad de cada parcela, A y B, representadas en las Figuras 2 y 3, se tomaron 15 puntos al azar y se promediaron para sacar un valor de NDVI (Cuadro 1 y 2) y se graficaron (Figura 4a-b, 5a-b) contra el Kc de referencia tal como lo sugiere Reyes-González *et al.* (2020).

Cuadro 1. NDVI promedio para las parcelas A y B del año 2020.

Fecha	Día Juliano	Kc Referencia	NDVI parcela chica	NDVI parcela grande
18 enero	18	0.14	0.22	0.2
12 febrero	43	0.15	0.21	0.17
13 marzo	73	0.16	0.26	0.25
12 abril	103	0.45	0.44	0.45
17 mayo	138	0.6	0.58	0.43
6 junio	158	0.63	0.54	0.39
16 julio	198	0.65	0.72	0.54
9 septiembre	253	0.65	0.52	0.53
19 octubre	293	0.5	0.54	0.41
18 noviembre	323	0.22	0.44	0.28
18 diciembre	353	0.14	0.35	0.3

Cuadro 2. NDVI promedio para las parcelas A y B del año 2021.

Fecha	Día Juliano	Kc Referencia	NDVI parcela chica	NDVI parcela grande
18 enero	18	0.14	0.26	0.25
12 febrero	43	0.15	0.44	0.29
13 marzo	73	0.16	0.29	0.22
12 abril	103	0.45	0.35	0.25
17 mayo	138	0.6	0.46	0.3
6 junio	158	0.63	0.52	0.33
16 julio	198	0.65	0.59	0.45
10 agosto	222	0.65	0.71	0.53
19 septiembre	262	0.65	0.64	0.39
14 octubre	287	0.5	0.59	0.43
13 noviembre	317	0.22	0.48	0.3

Figura 4. Relación lineal entre NDVI y Kc para las parcelas A y B en 2020.

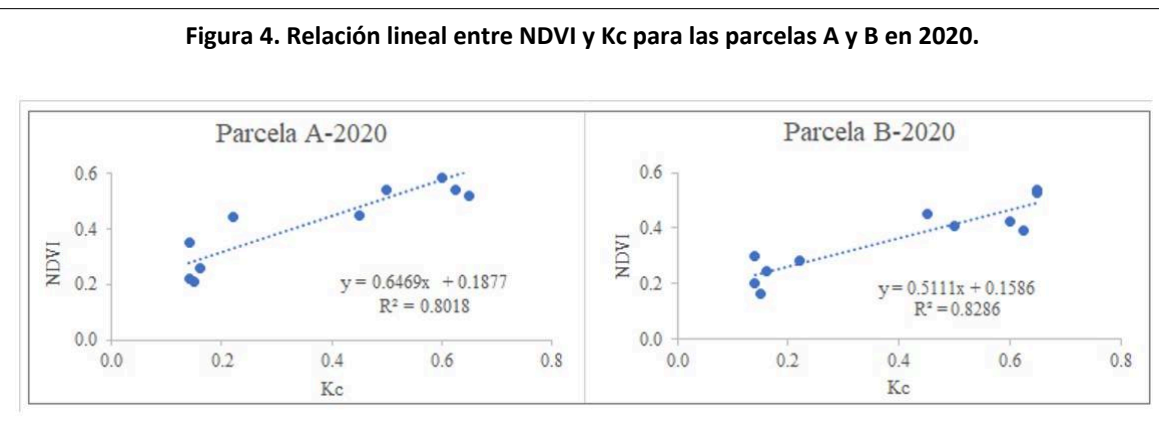
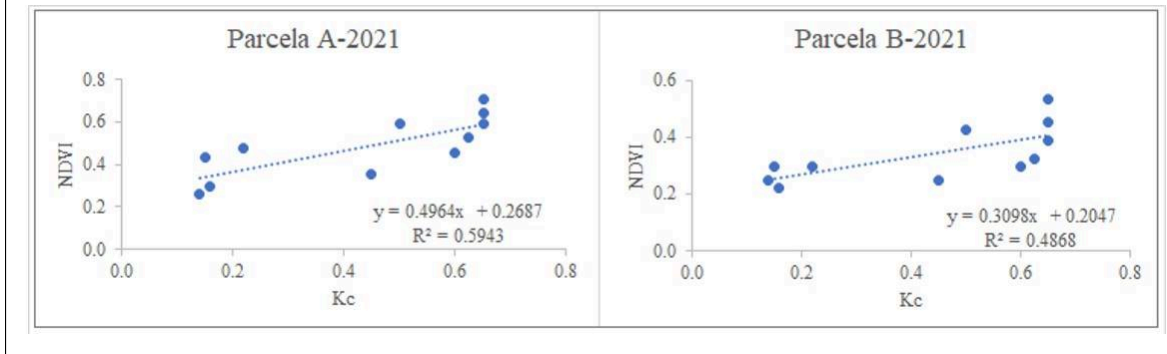


Figura 5. Relación lineal entre NDVI y Kc para las parcelas A y B en 2021.



En la Figura 4, el valor de R^2 más representativo se obtuvo en la parcela grande para el año 2020, por lo que, la ecuación propuesta para determinar el K_c del cultivo de higo sería $K_c = 0.5111NDVI + 0.1586$. Para el ejercicio 2021 (Figura 5), se obtuvieron ecuaciones con baja correlación lineal, esto debido al manejo agronómico tardío del cultivo en la huerta, cómo podas a destiempo, fertilización inadecuada, mal control de plagas, provocado por la contingencia sanitaria Covid 19.

Conclusiones

El presente estudio brinda una alternativa para el cálculo del K_c de manera remota; sin embargo, se recomienda continuar con el monitoreo, para validar y mejorar la ecuación para el cultivo de higo y analizar al menos dos ciclos de producción.

Bibliografía

- 1 Aguilar, N.; Galindo-Mendoza, G.; Fortanelli-Martínez, J. y Contreras-Servín, C. 2010. Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. *Av. Inv. Agrop.* 14(2):49-65.
- 2 Bautista-Zúñiga, F.; Palacio-Prieto, J. L. y Delfín-González, H. 2011. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. Centro de investigaciones en geografía ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2^{da}. Ed. 790 p.
- 3 Herrera-Puebla, J.; González-Robaina, F. y López-Seijas, T. 2015. Coeficientes de cultivo (K_c) para la determinación de la necesidad de agua en campos deportivos. *Rev. Ing. Agríc.* 5(2):3-9.
- 4 IIRBAVH. 2006. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG). *Geoenseñanza.* 11(1):107-116.
- 5 INEGI. 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Cuéntame. Información por entidad. Coahuila. México, DF. <https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/coah/territorio/clima.aspx?tema=me&e=05>.
- 6 INTAGRI. 2020. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Producción higo en México. Serie frutales. México, DF. 60(1):1-4. <https://www.intagri.com/articulos/frutales/produccion-de-higo-en-mexico#>.
- 7 Krtalic, A.; Prodan, A. and Racetin, I. 2019. Analysis of burned vegetation recovery by means of vegetation indices. *International Multidisciplinary Scientific geoConference.* <https://doi.org/10.5593/sgem2019/2.2/S10.055>.

- 8 Lizarazo-Salcedo, I. A. y Alfonso-Carbajal, O. A. 2011. Aplicaciones de la agricultura de precisión en palma de aceite '*Elaeis guineensis*' e híbrido O x G. Rev. Ing. 48(33):124-130.
- 9 Márquez-Guerrero, S. Y. 2019. Dinámica nutricional del cultivo de higo (*Ficus carica* L.) bajo sistemas de producción intensiva. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). 77 p.
- 10 Olaya, V. F. 2014. Sistemas de Información Geográfica. <http://volaya.es/writing>. 854 p.
- 11 Peraza-Padilla, W.; Rosales-Flores, J.; Esquivel-Hernández, A.; Hilje-Rodríguez, I.; Molina-Bravo, R. y Castillo-Castillo, P. 2013. Identificación morfológica, morfométrica y molecular de *Meloidogyne incognita* en higuera (*Ficus carica* L.) en Costa Rica. Agron. Mesoam. 24(2):337-346.
- 12 Reyes-González, A.; Kjaersgaard, J.; Trooien, T.; Hay, C. and Ahiablame, L. 2018. Estimation of crop evapotranspiration using satellite remote sensing-based vegetation index. Adv. Meteorol. 1:1-12. DOI: 10.1155/2018/4525021.
- 13 Reyes-González, A.; Reta-Sánchez, D. G.; Sánchez-Duarte, J. I.; Rodríguez-Moreno, V. M.; Hernández-Leal, E. y Franco-Gaytán, I. 2020. Desarrollo del coeficiente de cultivo para cártamo forrajero basado en índices de vegetación. Tecnología y Ciencias del Agua. 11(6):39-80. Doi: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-06-02>
- 14 Rodríguez-Morán, J. M. y Valdez-Quiles, G. 1999. Riego de la higuera. Comunidad valenciana España. 33-38 pp.
- 15 Rosales-Serrano, L. A.; Segura-Castruita, M. Á.; González-Cervantes, G.; Potisek-Talavera, M. D.; Orozco-Vidal, J. A. y Preciado-Rangel, P. 2015. Influencia de los ácidos fúlvicos sobre la estabilidad de agregados y la raíz de melón en casa sombra. Interciencia. 40(5):317-323.
- 16 Rueda-Calier, F.; Peñaranda-Mallungo, L. A.; Velásquez-Vargas, W. L. y Díaz-Báez, S. A. 2019. Aplicación de una metodología de análisis de datos obtenidos por percepción remota orientados a la estimación de la productividad de caña para panela al cuantificar el NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada). Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 16(1):25-40.
- 17 Von-Lineo, C. 1753. *Ficus carica* L. Species Plantarum 2. 1 059 p.
- 18 Zamora-Herrera, E.; Duarte-Díaz, C.; Cun-González, R.; Pérez-Hernández, R. y León-Fundora, M. 2014. Coeficientes de cultivo (Kc) en cuba. Rev. Ingen. Agríc. 4(3):16-22.



Uso de sensoría remota para la determinación del Kc del cultivo de higo

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 October 2023
Date accepted: 01 November 2023
Publication date: 10 November 2023
Publication date: October 2023
Volume: 14
Issue: 7
Electronic Location Identifier: e3293
DOI: 10.29312/remexca.v14i7.3293

Categories

Subject: Nota de investigación

Palabras clave:

Palabras clave:

Ficus carica L.

coeficiente de cultivo (Kc)

imágenes de satélite.

Counts

Figures: 5

Tables: 2

Equations: 1

References: 18

Pages: 0