



# Análisis bibliométrico de la investigación científica sobre modelos para estimar evapotranspiración en cultivos agrícolas

González Pérez, Cecilia; Santillán Fernández, Alberto; López Serrano, Pablito Marcelo; Ramírez Guzmán, Martha Elva; Quej Chi, Víctor Hugo; Carrillo Ávila, Eugenio

Análisis bibliométrico de la investigación científica sobre modelos para estimar evapotranspiración en cultivos agrícolas

CIENCIA *ergo-sum*, vol. 31, 2024 | e242

Ciencias Naturales y Agropecuarias

Universidad Autónoma del Estado de México, México

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.



González Pérez, C., Santillán Fernández, A., López Serrano, P. M., Ramírez Guzmán, M. E., Quej Chi, V. H. y Carrillo Ávila, E. (2024). Análisis bibliométrico de la investigación científica sobre modelos para estimar evapotranspiración en cultivos agrícolas. *CIENCIA ergo-sum*, 31. <http://doi.org/10.30878/ces.v31n0a27>

# Análisis bibliométrico de la investigación científica sobre modelos para estimar evapotranspiración en cultivos agrícolas

## Bibliometric analysis of scientific research on models to estimate evapotranspiration in agricultural crops

Cecilia González Pérez

BIOSAT Colegio de Postgraduados campus Campeche, México

gonzalez.cecilia@colpos.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-2263-048X>

Recepción: 21 de febrero de 2023

Aprobación: 21 de junio de 2023

Alberto Santillán Fernández\*

IxM CONAHCYT Colegio de Postgraduados campus Campeche, México

santillan.alberto@colpos.mx

 <http://orcid.org/0000-0001-9465-1979>

Pablito Marcelo López Serrano

Universidad Juárez del Estado de Durango, México

p\_lopez@ujed.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-0640-0606>

Martha Elva Ramírez Guzmán

Colegio de Postgraduados campus Montecillo, México

martharg@colpos.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-8840-3706>

Victor Hugo Quej Chi

BIOSAT Colegio de Postgraduados campus Campeche, México

quej@colpos.mx

 <http://orcid.org/0000-0002-9356-6251>

Eugenio Carrillo Ávila

BIOSAT Colegio de Postgraduados campus Campeche, México

ceugenio@colpos.mx

 <http://orcid.org/0000-0003-2711-7412>

### RESUMEN

Se analiza la evolución espacio-temporal de la producción de artículos científicos que utilizaron alguna metodología para la estimación de la evapotranspiración potencial en un cultivo agrícola (ETP). Se recopilaron 475 artículos científicos disponibles en Web of Science. Los modelos para estimar la ETP de mayor frecuencia son los propuestos por FAO-Penman-Monteith (31.79%), Penman-Monteith (26.11%) y Thornthwaite (11.37%), los cuales se aplicaron principalmente a cultivos de maíz, sorgo, soya y papa, en países como Estados Unidos, China, Brasil, e India, líderes agrícolas a nivel mundial. Con base en los resultados, se encuentra un crecimiento exponencial en la publicación de los textos de 1984 a 2020 ( $R^2 = 0.7624$ ), lo que denota la relevancia del tema como un mecanismo para eficientizar el agua.

**PALABRAS CLAVE:** artículo científico, FAO-Penman-Monteith, Penman-Monteith, Thornthwaite.

---

\*AUTOR PARA CORRESPONDENCIA

santillan.alberto@colpos.mx

## ABSTRACT

The spatio-temporal evolution of the production of scientific articles that used some methodology for the estimation of potential evapotranspiration in an agricultural crop (ETP) was analyzed. We compiled 475 texts available on the Web of Science. The models to estimate the most frequent ETP were those proposed by FAO-Penman-Monteith (31.79%), Penman-Monteith (26.11%), and Thornthwaite (11.37%), and were applied mainly to maize, sorghum, soybean and potato crops, in countries such as the United States, China, Brazil, and India, agricultural leaders worldwide. It was found that there was an exponential growth in the publication of texts from 1984 to 2020 ( $R^2 = 0.7624$ ), which demonstrates the relevance of the topic as a mechanism to make water use more efficient.

**KEYWORDS:** scientific article, FAO-Penman-Monteith, Penman-Monteith, Thornthwaite.

## INTRODUCCIÓN

La metodología del balance hídrico climático (BHC) es una buena herramienta para determinar los requerimientos de agua de un cultivo, ya que mide la cantidad de agua que la vegetación dispone en un ecosistema (Ruíz-Álvarez *et al.*, 2012). El BHC permite conocer el potencial de evapotranspiración, índice de humedad, exceso y déficit hídrico a lo largo de una temporada para una región determinada (Sentelhas *et al.*, 2008). De acuerdo con Malamos *et al.* (2015), de los métodos para determinar la evapotranspiración potencial, el de cálculo más simple es el que propone Thornthwaite y Mather (1957), ya que solo requiere de datos de temperatura, precipitación y capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

Sin embargo, a pesar de la relevancia del BHC en la planificación de las actividades agrícolas, existe poca investigación que evalué la importancia de las publicaciones sobre las metodologías para el cálculo de la evapotranspiración potencial de un cultivo, lo cual robustecería las inferencias y su aplicabilidad en condiciones prácticas (Espinosa-Calderón *et al.*, 2014). De esta manera, los estudios bibliométricos a partir de artículos científicos permiten caracterizar el desarrollo y evolución de un tópico en particular (Peng, 2017). Mediante los indicadores bibliométricos se pueden evaluar temas de interés científico de manera objetiva, observar las tendencias que siguen y generar información útil para mejorar su gestión, calidad y aplicabilidad (Chao *et al.*, 2007).

En el sector hidroagrícola se han desarrollado estudios bibliométricos para evaluar temas generales de agronomía (Cañas-Guerrero *et al.*, 2013), temas específicos como agricultura ecológica (Aleixandre *et al.*, 2015), frutas y hortalizas (Tatry *et al.*, 2014), e incluso para agrónomos en particular (Nayak y Bankapur, 2017), revistas agrícolas (Bravo-Vinaja, 2015), sectores agrícolas nacionales (Bravo-Vinaja y Sanz-Casado, 2008) y cultivos específicos como trigo y cebada (Giraldo *et al.*, 2019) y arroz (Peng, 2017; Sun y Yuan, 2020).

En virtud de ello, el objetivo es analizar la evolución espacio-temporal de la producción científica sobre las metodologías para la estimación de la evapotranspiración potencial de un cultivo agrícola (ETP) mediante minería de textos para determinar en función de variables climáticas disponibles las mejores metodologías para el cálculo de la ETP.

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. 1. Origen de la información

En este estudio se revisaron artículos científicos donde se aplicaron modelos matemáticos para el cálculo de la evapotranspiración potencial en un cultivo agrícola mediante un análisis de contenido. Para la recopilación, se consultó la base de datos de artículos de revistas de acceso abierto de la Web of Science (CONRICyT, 2021). Los textos se recopilaron en mayo de 2021, pero se consideraron textos publicados hasta diciembre de 2020. La palabra clave empleada en la búsqueda, que se identificó en los títulos y palabras clave de las publicaciones, fue “potential evapotranspiration”, la cual solo se utilizó en inglés por considerar que los textos en este idioma es más probable que se citen. Esto permite capturar la gran mayoría de las publicaciones relevantes (Leipold, 2014).

## 1. 2. Indicadores bibliométricos

Las variables analizadas de cada uno de los textos publicados fueron “nombre de la revista”, que sirvió para determinar el perfil de las revistas que publican trabajos afines al tópico de potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola. Las variables “autor” y “país de origen del primer autor” sirvieron para conocer la red de actores involucrados en la investigación y la representación espacial de los países con el mayor número de publicaciones; “año” para colocar la información en una línea temporal. El “título”, “resumen” y “palabras clave” se emplearon para categorizar el tópico que aborda la publicación conforme la clasificación de la Web of Science y finalmente con el “número de citas” se determinó el impacto de las publicaciones.

La captura de las variables para el análisis bibliométrico se realizó en una hoja de cálculo. Se respetó el idioma original de cada uno de los textos. Durante la captura de toda la información, se estandarizaron algunos registros debido a que la información disponible en los textos algunas veces estuvo incompleta o se presentó con variantes (Aguado-López *et al.*, 2009). Además, se eliminaron o cambiaron caracteres especiales como ñ (por n), acentos, superíndices, subíndices, ®, ©, entre otros, para facilitar el análisis.

## 1. 3. Análisis con minería de textos

Con ayuda del complemento RcmdrPlugin.temis del *software* estadístico R (Bouchet-Valat y Bastin, 2013). se obtuvo el número de textos y citas bibliográficas por año, revista, tema de investigación y país donde se originó la investigación.

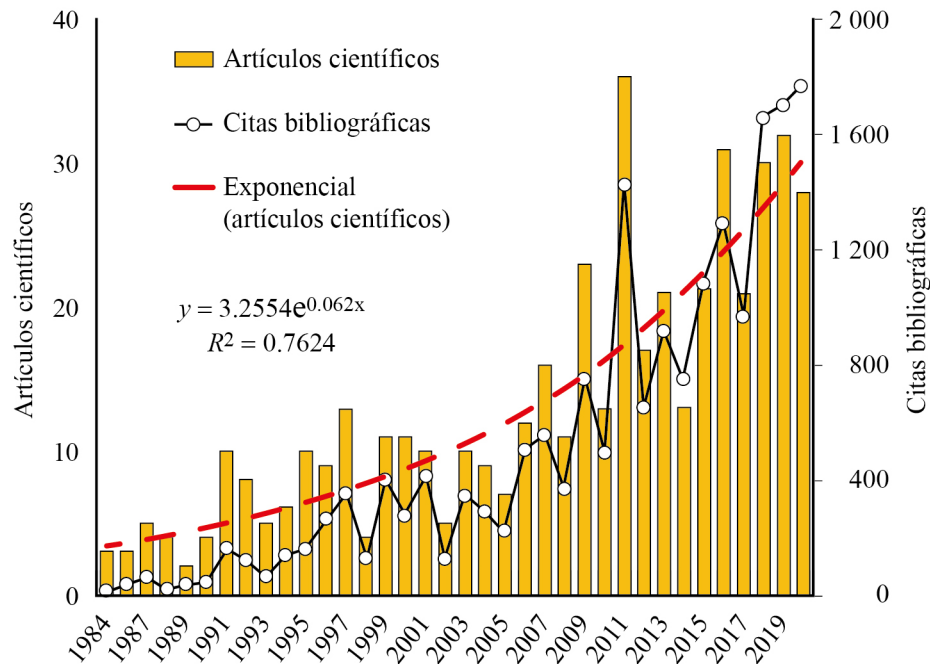
## 1. 4. Análisis de redes

Con el *software* Sci2 Tool (Börner, 2011) se analizaron las interacciones que existen entre los autores con la finalidad de conocer la constancia en la labor del investigador, es decir, evaluar si ha publicado solo en un año o bien ha publicado de manera constante a través del tiempo, lo que da una idea de su consolidación en el tópico para el cálculo del potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola. La sintaxis empleada en el *software* Sci2 Tool fue *extract bipartite network* y para su visualización se recurrió al *software* Gephi (Bastian *et al.*, 2009). Finalmente, la representación espacial del número de artículos por país donde se originó la investigación, se efectuó en el paquete geográfico ArcGIS® (ESRI, 2015).

# 2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 2. 1. Producción científica sobre modelos para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola

De 1984 a 2020 se publicaron un total de 475 textos científicos cuyo objeto de estudio fue el desarrollo y aplicación de la metodología para el cálculo del potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola (gráfica 1). Los 475 textos científicos originaron 18 548 citas bibliográficas. El periodo de 2011 a 2020 concentró el 52.84 % de los textos (251) y el 65.79% de las citas bibliográficas (12 202). De acuerdo con Malamos *et al.* (2015), el crecimiento exponencial ( $R^2 = 0.7624$ ) en la publicación de textos sobre metodologías para la estimación del potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola se explica por la necesidad de hacer más eficiente el uso del agua para la agricultura ante las variaciones climáticas actuales; en complemento, Santillán-Fernández *et al.* (2021) encontraron que cuando el crecimiento temporal entre los textos científicos y sus citas bibliográficas es directamente proporcional, por lo que se está ante tópicos de alta relevancia para la comunidad científica.



GRÁFICA 1

Evolución temporal de la producción científica y citas bibliográficas sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola de 1984 a 2020

Fuente: elaboración propia con datos recabados de Clarivate (2020) sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola.

De acuerdo con el país de origen del primer autor, los 475 trabajos se originaron en 58 países. El 76.81% (371) se concentró en doce países: Estados Unidos (119 textos, 24.64%), China (47, 9.73%), Brasil (46, 9.52%), Irán (28, 5.80%), India (26, 5.38%), Canadá (23, 4.76%), Australia (17, 3.52%), Alemania (16, 3.31%), España (13, 2.69%), Reino Unido (13, 2.69%), Argentina (12, 2.48%) e Italia (11, 2.28%) (figura 1). En la figura 1 es posible observar que la mayoría de la investigación desarrollada en torno a las metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola se ha dado en países con tradición agrícola como Estados Unidos, China, Brasil e India.

De acuerdo con Gersbach y Schneider (2015), el desarrollo agrícola de un país está relacionado directamente con la calidad de sus investigaciones; países con economías consolidadas invierten más en sus centros de investigación, lo que les permite un mayor desarrollo tecnológico, a diferencia de las economías en vías de desarrollo como las latinoamericanas donde la inversión en investigación es menor; de tal forma que la competitividad del sector agrícola en un país está relacionada directamente con la calidad de las investigaciones que realiza en dicho sector.

Para el caso de las principales áreas de investigación donde se ha desarrollado nuevo conocimiento sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola, se encontró que aquellos que se asocian con temas de agricultura fueron un tópico de moda entre la comunidad científica con 219 textos (47.00%), seguido de temas sobre recursos hídricos (113 textos, 23.40%), meteorología (91, 18.84%), ciencia de plantas (21, 4.35%), biotecnología (16, 3.31%) y ciencias ambientales (15, 3.11%) (gráfica 2). Respecto a los países con el mayor número de publicaciones, destaca el hecho de que los principales países agrícolas de América (Estados Unidos y Brasil) han centrado el desarrollo de investigación en temas asociados a agricultura y recursos hídricos, mientras que para el caso de los países Asiáticos (China e India) por su condición de vulnerabilidad ante el cambio climático en el desarrollo de modelos meteorológicos.

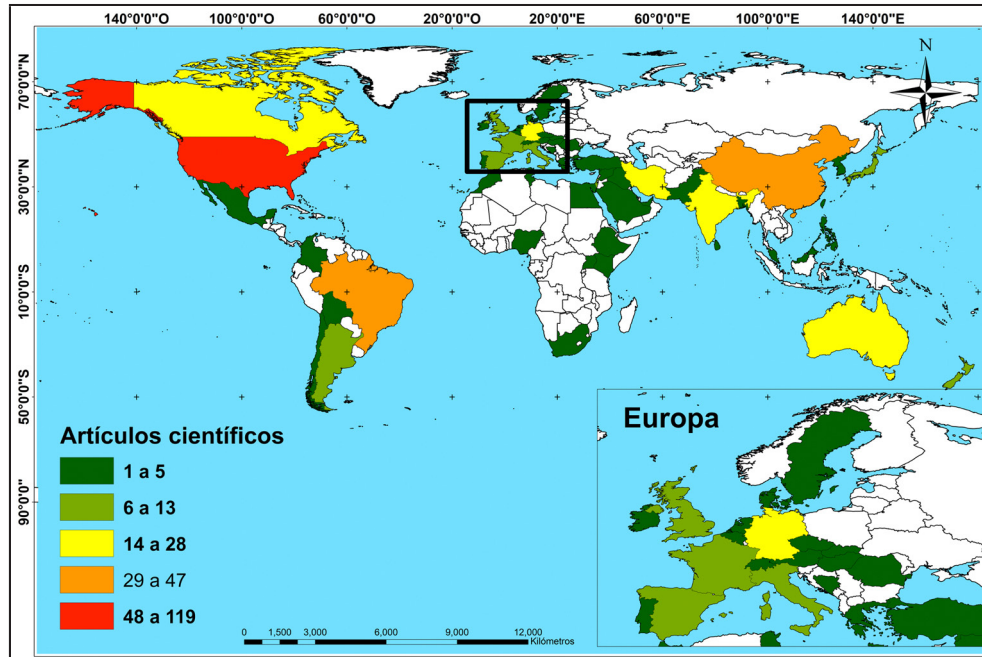
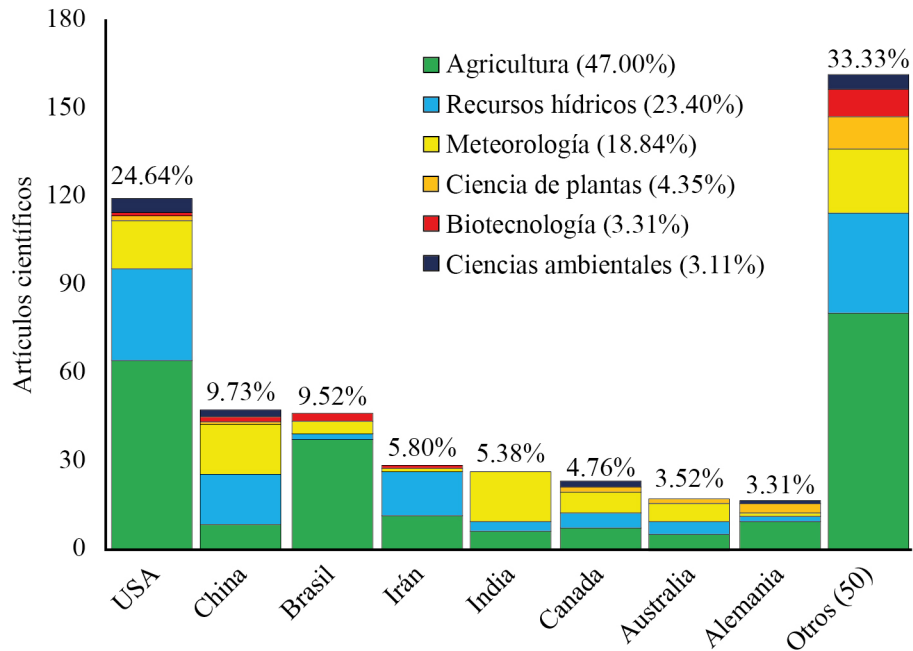


FIGURA 1

Relación espacial de la producción de artículos científicos sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola, de 1984 a 2020

Fuente: elaboración propia con datos recabados de Clarivate (2020) sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola.



GRÁFICA 2

Principales naciones y áreas de investigación, según el país de origen del primer autor en los artículos científicos sobre modelos para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola, de 1984 a 2020

Fuente: elaboración propia con datos recabados de la Clarivate (2020) sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola.

## 2. 2. Indicadores bibliométricos

Los 475 artículos científicos analizados se publicaron en 96 revistas científicas. Un total de 266 artículos, el 55.07% y 12 304 citas bibliográficas, el 64.73%, se concentraron en 10 revistas con factores de impacto superiores a 2 (tabla 1). La especialización de las 10 principales revistas, se centró en temas agrícolas (6), recursos hídricos (2) y meteorología (2). La casa editorial Elsevier coordina los trabajos de publicación de 4 y Springer de 1, que, de acuerdo con Santillán-Fernández *et al.* (2021), ayuda a mejorar el impacto de las publicaciones al incrementar la probabilidad de llegar a un mayor número de usuarios.

Respecto a los modelos matemáticos para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola, se encontraron nueve modelos principales, entre ellos los más frecuentes fueron FAO-Penman-Monteith que apareció en 151 textos analizados (31.79%), Penman-Monteith (124, 26.11%) y Thornthwaite (54, 11.37%) (tabla 2). De acuerdo con Malamos *et al.* (2015), dentro de todos estos modelos, el de más simple cálculo para determinar la evapotranspiración potencial es el que proponen Thornthwaite y Mather (1957).

TABLA 1

Indicadores bibliométricos de las principales revistas que publicaron artículos científicos sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola\*

Revista	País	Institución	Clarivate (2020)	Área de especialización	Artículos		Citas	
					Número	%	Número	%
<i>Agricultural and Forest Meteorology</i>	Países Bajos	Elsevier	5.734 (Q1)	Agronomy, forestry, and meteorology	73	15.11	3 889	20.46
<i>Agricultural Water Management</i>	Países Bajos	Elsevier	4.516 (Q1)	Agricultural water management	70	14.49	3 682	19.37
<i>Agronomy Journal</i>	Estados Unidos de América	American Society of Agronomy	2.829 (Q2)	Agronomy	22	4.55	882	4.64
<i>Journal of Irrigation and Drainage Engineering</i>	Estados Unidos de América	American Society of Civil Engineers	1.34 (Q3)	Water science and technology	20	4.14	772	4.06
<i>Journal of Agrometeorology</i>	India	Association of Agrometeorologists	0.48 (Q4)	Atmospheric science	17	3.52	194	1.02
<i>Transactions of the ASABE (Journal of the ASABE)</i>	Estados Unidos de América	American Society of Agricultural and Biological Engineers	1.238 (Q2)	Agronomy and crop science	17	3.52	857	4.51
<i>Agriculture, Ecosystems &amp; Environment</i>	Estados Unidos de América	Elsevier	6.576 (Q1)	Agronomy and crop science	14	2.90	872	4.59
<i>Irrigation Science</i>	Alemania	Springer	2.94 (Q1)	Water science and technology	14	2.90	509	2.68
<i>Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental</i>	Brasil	Universidad Federal de Campina Grande	1.36 (Q2)	Agronomy and crop science	10	2.07	235	1.24
<i>European Journal of Agronomy</i>	Países Bajos	Elsevier	5.52 (Q1)	Agronomy and crop science	9	1.86	412	2.17
Otras (86)					209	44.93	6 244	35.27
Total (96)					475	100.0	18 548	100.0

TABLA 2

Modelos matemáticos de las metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola, ordenadas según el número de artículos publicados

Método	Formula	Variables
FAO-Penman-Monteith (151, 31.79%)	$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} u_2 [e_s - e_a]}{\Delta + \gamma [1 + 0.34u_2]}$	<p><math>ET_0</math> = evapotranspiración de referencia [mm día<sup>-1</sup>]  <math>R_n</math> = radiación neta en la superficie del cultivo [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>]  <math>G</math> = densidad de flujo de calor del suelo [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>]  <math>T_{mean}</math> = temperatura del aire a 2 m de altura [°C]  <math>u_2</math> = velocidad del viento a 2 m de altura [m s<sup>-1</sup>]  <math>e_s</math> = presión de vapor de saturación [kPa]  <math>e_a</math> = presión de vapor real [kPa]  <math>\Delta</math> = pendiente de la curva de presión de vapor de saturación [kPa °C<sup>-1</sup>]  <math>\gamma</math> = constante psicrométrica [kPa °C<sup>-1</sup>]</p>
Penman-Monteith (124, 26.11%)	$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + \left[\frac{c_p - D}{r_a}\right]}{\Delta + \gamma \left[1 + \left(\frac{r_c}{r_a}\right)\right]}$	<p><math>ET_0</math> = evapotranspiración de referencia [mm día<sup>-1</sup>]  <math>\Delta</math> = pendiente de la curva de presión de vapor de saturación [kPa °C<sup>-1</sup>]  <math>R_n</math> = radiación neta en la superficie del cultivo [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>]  <math>G</math> = densidad de flujo de calor del suelo [MJ m<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>]  <math>c_p</math> = significa el calor específico del aire [J kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>]  <math>D</math> = déficit de vapor de agua (kPa)  <math>\gamma</math> = significa la constante psicrométrica [kPa °C<sup>-1</sup>]  <math>r_a</math> = representa la resistencia aerodinámica [s m<sup>-1</sup>]  <math>r_c</math> = representa la resistencia de la superficie del dosel [s m<sup>-1</sup>]</p>
Thornthwaite (54, 11.37%)	$ET_{TH} = 16 \left(10 \frac{T_{mean}}{I}\right)^a \frac{N}{360}$	<p><math>ET_{TH}</math> = evapotranspiración potencial calculada con la ecuación de Thornthwaite [mm día<sup>-1</sup>]  <math>T_{mean}</math> = temperatura media del aire para cada mes [°C]  <math>N</math> = número máximo de horas de sol en el mes [h d<sup>-1</sup>]  <math>I</math> = índice de calor anual, definido como la suma de 12 valores de los índices de calor mensuales  <math>a = 0.492 + 0.0179(I) - 0.0000771(I^2) + 0.000000675(I^3)</math></p>
Hargreaves-Samani (33, 6.95%)	$ET_{HS} = 0.0023 * 0.408 * H_0 * [T_{med} + 17.8] [T_{max} - T_{min}]^{0.5}$	<p><math>ET_{HS}</math> = evapotranspiración de referencia estimada [mm d<sup>-1</sup>]  <math>T_{med}</math>, <math>T_{max}</math> y <math>T_{min}</math> representan el valor medio, máximo y mínimo de la temperatura del aire [°C] respectivamente  <math>H_0</math> = radiación solar extraterrestre, en mm/día [tabulada]</p>

TABLA 2 (continúa)

Modelos matemáticos de las metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola, ordenadas según el número de artículos publicados

Método	Formula	Variabes
Priestley-Taylor (30, 6.32%)	$ET_0 = a \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n + G}{\lambda}$	$ET_0$ = representa la evapotranspiración potencial [mm d <sup>-1</sup> ] $a$ = parámetro ecuación de Priestley-Taylor $\lambda$ = calor latente de vaporización a 20°C, 2.45MJ/kg $\Delta$ = pendiente de la curva de presión de vapor, [kPa °C <sup>-1</sup> ] $R_n$ = radiación neta en la superficie del cultivo $G$ = flujo del calor de suelo, MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> $\lambda$ = significa la constante psicrométrica [kPa °C <sup>-1</sup> ]
Blaney-Criddle (27, 5.68%)	$Et_0 = p [0.46T + 8.13]$	$Et_0$ = representa la evapotranspiración potencial [mm d <sup>-1</sup> ] $T$ = es el promedio de temperatura diaria para el periodo definido [°C] $p$ = representa el porcentaje de horas diarias de luz o insolación en la zona [%]
Hargreaves (21, 4.42%)	$ET_0 = 0.0135 R_s (T_m + 17.8)$	$ET_0$ = es la evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d <sup>-1</sup> ] $R_s$ = radiación solar que llega a nivel del suelo; está tabulada en función de la latitud y del mes. $T_m$ = temperatura media diaria
Shuttleworth-Wallace (18, 3.79%)	$ET = T_r + E_g$	$ET$ = evapotranspiración diaria [mm d <sup>-1</sup> ] $T_r$ = transpiración de la planta $E_g$ = evaporación del suelo
Turc (12, 2.53%)	$ETP = 0.013 (R_s + 50) \left( \frac{T_m}{T_m + 15} \right) 1 + \left[ \left( \frac{65 - HR}{120} \right) \right]$	$ETP$ = evapotranspiración de referencia, expresada en [mm d <sup>-1</sup> ] $R_s$ = radiación solar [cal cm <sup>2</sup> día] $T_m$ = temperatura media del aire, expresada en °C $HR$ = humedad relativa media [%]
Otros (5, 1.05%)		
Total (475, 100%)		

Fuente: elaboración propia con datos recabados de Clarivate (2020) sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola.

### 2. 3. Redes de autor y colaboradores

La red de autores (figura 2) estuvo compuesta de 1 641 nodos (autores) y 1 450 aristas (vínculos). Los vínculos en un análisis de redes de coautoría son importantes porque es a través de ellos que un autor logra alcanzar ciertas ideas, conocimiento e información que socialmente es distante para él (Granovetter, 1973).

Los principales autores que desarrollaron investigación en el tópico sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola fueron Irmak\_S (7 textos) de la Universidad de Nebraska en Estados Unidos, quien aplicó los modelos Hargreaves-Samani y FAO-Penman-Monteith a cultivos como maíz y soya, además de aportaciones teóricas en metereología; Sepaskhah\_AR (6 textos) de la Universidad de Shiraz en Irán, quien aplicó el método de FAO-Penman-Monteith en cultivos como papa; Ahuja\_LR (5 textos) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, quien aplicó diferentes modelos en cultivos como maíz; Hoogenboom\_G (5 textos) de la Universidad de Georgia en Estados Unidos, quien desarrolló modificaciones teóricas al modelo de FAO-Penman-Monteith; Howell\_TA (4 textos) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos, quien contribuyó con modificaciones teóricas a los modelos Shuttleworth-Wallace y Penman-Monteith, y Hubbard\_KG (4 textos) de la Universidad de Nebraska en Estados Unidos, quien aplicó el modelo de Penman-Monteith a cultivos como el sorgo.

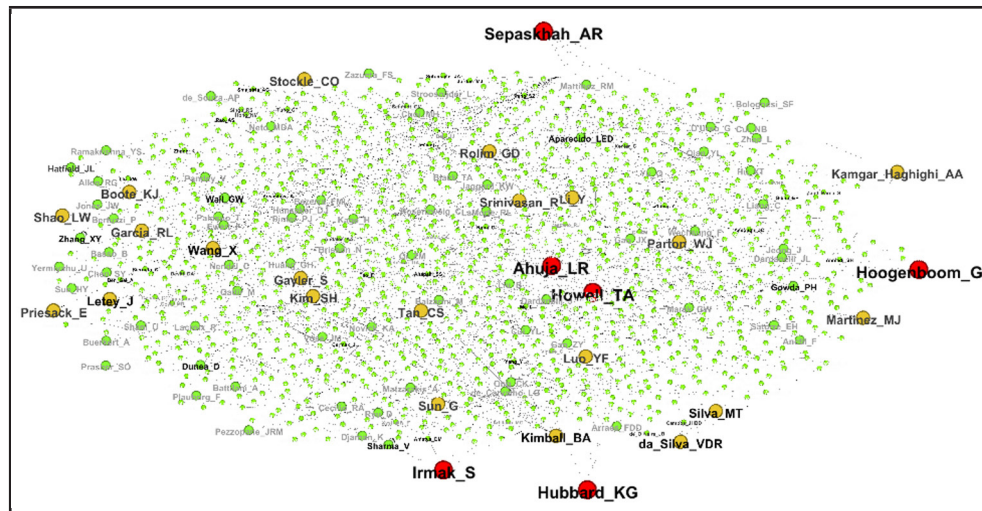


FIGURA 2

Red de autores a nivel mundial que han publicado artículos científicos sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola

Fuente: elaboración propia con datos recabados de Clarivate (2020) sobre metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola.

Nota: el tamaño del nodo corresponde con su productividad.

## PROSPECTIVA

La eficiencia hídrica para el uso en la agricultura ha promovido el desarrollo de investigaciones sobre modelos que estiman la evapotranspiración potencial en los cultivos agrícolas como una medida de eficientizar el recurso agua ante las variaciones climáticas actuales. Debido a que los campos en los que se requiere conocer la distribución espacial del régimen hídrico son diversos, se ha generado una amplia gama de conocimiento que en muchos casos imposibilita su consulta.

En virtud de ello, la metodología del análisis bibliométrico contribuye a sistematizar la información de manera eficiente, dado que reduce los tiempos de consulta. La bibliometría como herramienta permite generar nuevo conocimiento a partir de conocimiento ya existente. En este sentido es una técnica de fácil operación que facilita a los usuarios las consultas, análisis y toma de decisiones. Tradicionalmente, la bibliometría se reducía a estadística descriptiva.

Sin embargo, con el desarrollo de las tecnologías de información y comunicación, en la actualidad la bibliometría permite los análisis espaciotemporales con estadística multivariada y, por lo tanto, amplía las fronteras de conocimiento sobre tópicos específicos. La frecuencia de los estudios bibliométricos es cada vez mayor e incide directamente en el marco referencial de las investigaciones. Con base en esto, se espera que en un futuro cercano constituyan una parte esencial en la sección introductoria de las publicaciones científicas.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de metodologías para la estimación del potencial de evapotranspiración de cultivos agrícolas ha sido un tema relevante en la comunidad científica como un mecanismo para eficientizar el agua en la agricultura ante las variaciones climáticas actuales. Los modelos de mayor desarrollo se han centrado en los propuestos por FAO-Penman-Monteith, Penman-Monteith, y Thornthwaite, que han sido aplicados principalmente a cultivos como maíz, sorgo, soya y papa. Las regiones donde se ha desarrollado más conocimiento sobre las metodologías para estimar el potencial de evapotranspiración de un cultivo agrícola coinciden con los principales países

agrícolas a nivel mundial: Estados Unidos, China, Brasil, e India. Mientras que los países de América (Estados Unidos y Brasil) han centrado el desarrollo de investigación en temas asociados a la agricultura y los recursos hídricos. Los países asiáticos (China e India) por su condición de vulnerabilidad ante el cambio climático lo han hecho en el desarrollo de modelos meteorológicos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías por la beca otorgada al primer autor para el desarrollo de la Maestría en Ciencias en Biotecnología y Sustentabilidad Agrícola en el Trópico, en el Colegio de Postgraduados campus Campeche. Este trabajo forma parte de la Cátedra-Conahcyt 364 titulada *Reconversión productiva sustentable para el desarrollo de los productores rurales de Campeche*. Extendemos los agradecimientos a los árbitros que aportaron una mejora a la estructura del artículo.

## REFERENCIAS

- Aguado-López, E., Rogel-Salazar, R., Garduño-Oropeza, G., Becerril-García, A., Zúñiga-Roca, M. y Velázquez-Álvarez, A. (2009). Patrones de colaboración científica a partir de redes de coautoría. *Convergencia Revista de Ciencias Sociales*, 16, 225-258.
- Aleixandre, J. L., Aleixandre-Tudó, J. L., Bolaños-Pizarro, M., & Aleixandre-Benavent, R. (2015). Mapping the scientific research in organic farming: a bibliometric review. *Scientometrics*, 105, 295-309. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1677-4>
- Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: an open-source software for exploring and manipulating networks. *Proceedings of the International AAAI Conference on Web and Social Media*, 3(1), 361-362. <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
- Börner, K. (2011). Science of Science Studies: Sci2 Tool. *Communications of the ACM*, 54(3), 60-69.
- Bouchet-Valat, M., & Bastin, G. (2013). RcmdrPlugin.temis, a graphical integrated text mining solution in R. *The R Journal*, 5, 188-196.
- Bravo-Vinaja, Á. (2015). Impacto de la *Revista Fitotecnia Mexicana* y de las revistas mexicanas indexadas. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 229-234.
- Bravo-Vinaja, Á. y Sanz-Casado, E. (2008). Análisis bibliométrico de la producción científica de México en ciencias agrícolas durante el periodo 1983-2002. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3), 187-194.
- Cañas-Guerrero, I., Mazarrón, F. R., Pou-Merina, A., Calleja-Perucho, C., & Díaz-Rubio, G. (2013). Bibliometric analysis of research activity in the “Agronomy” category from the Web of Science, 1997–2011. *European Journal of Agronomy*, 50, 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.05.002>
- Chao, C. C., Yang, J. M., & Jen, W. Y. (2007). Determining technology trends and forecasts of RFID by a historical review and bibliometric analysis from 1991 to 2005. *Technovation*, 27(5), 268-279. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2006.09.003>
- Clarivate. (2020). *WoS (Web of Science)-Journal Citation Reports*. <https://clarivate.com/products/scientific-and-academic-research/research-analytics-evaluation-and-management-solutions/journal-citation-reports/>
- CONRICyT (Consortio Nacional de Recursos de Información Científica y Tecnológica) . (2021). *Recursos por Institución*. CONAHCYT. [https://www.conricyt.mx/acervo-editorial/recursos-por-institucion?id\\_inst=38](https://www.conricyt.mx/acervo-editorial/recursos-por-institucion?id_inst=38)

- Espinosa-Calderón, A., Turrent-Fernández, A., Tadeo-Robledo, M., Vicente-Tello, S., Gómez-Montiel, N., Valdivia-Bernal, R. y Zamudio-González, B. (2014). Ley de semillas y ley federal de variedades vegetales y transgénicos de maíz en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 293-308.
- ESRI. (2015). *ArcGIS 10.3*. Environmental Systems Research Institute. Redlands. <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-desktop>
- Gersbach, H., & Schneider, M. T. (2015). On the global supply of basic research. *Journal of Monetary Economics*, 75, 123-137. <https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2015.02.004>
- Giraldo, P., Benavente, E., Manzano-Agugliaro, F., & Gimenez, E. (2019). Worldwide research trends on wheat and barley: A bibliometric comparative analysis. *Agronomy*, 9, 352-369. <https://doi.org/10.3390/agronomy9070352>
- Granovetter, M. S. (1973). The strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78, 1360-1380. <https://doi.org/10.1086/225469>
- Leipold, S. (2014). Creating forests with words -A review of forest-related discourse studies. *Forest Policy Economics*, 40, 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2013.12.005>
- Malamos, N., Barouchas, P. E., Tsirogiannis, I. L., Liopa-Tsakalidi, A., & Koromilas, T. (2015). Estimation of monthly FAO Penman-Monteith evapotranspiration in GIS environment, through a geometry independent algorithm. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 290-299. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.033>
- Nayak, S., & Bankapur, V. (2017). Scientometric Analysis of Scholarly Publications of Agronomist Dr. GS Khush. *VEETHIKA-An International Interdisciplinary Research Journal*, 30(3), 1-14.
- Peng, S. B. (2017). Booming research on rice physiology and management in China: A bibliometric analysis based on three major agronomic journals. *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 2726-2735. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61804-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61804-5)
- Ruíz-Álvarez, O., Arteaga-Ramírez, R., Vázquez-Peña, M. A., Ontiveros R. E. y López-López, R. (2012). Balance hídrico y clasificación climática del estado de Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 28, 1-14.
- Santillán-Fernández, A., Salinas-Moreno, Y., Valdez-Lazalde, J. R., & Pereira-Lorenzo, S. (2021). Spatial-temporal evolution of scientific production about genetically modified maize. *Agriculture*, 11(3), 246. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030246>
- Sentelhas, P. C., Dos Santos, D. L., & Machado, R. E. (2008). Water deficit and water surplus maps for Brazil, based on FAO Penman-Monteith potential evapotranspiration. *Ambiente & Água*, 3, 28-42. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.59>
- Sun, J., & Yuan, B. Z. (2020). A bibliometric analysis of research on rice and irrigation from the 'Agronomy' category based on the Web of Science. *Current Science*, 119, 438-446.
- Tatry, M. V., Fournier, D., Jeannequin, B., & Dosba, F. (2014). EU27 and USA leadership in fruit and vegetable research: a bibliometric study from 2000 to 2009. *Scientometrics*, 98(3), 2207-2222. <https://doi.org/10.1007/s11192-013-1160-z>
- Thorntwaite, C. W., & Mather, J. R. (1957). Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, 10, 185-311.

CC BY-NC-ND