

## Balance hídrico en cuencas hidrológicas. Una aplicación basada en Google Earth Engine

Ignacio Sánchez-Cohen<sup>1,§</sup>

Sergio Iván Jiménez-Jiménez<sup>1</sup>

Marco Antonio Inzunza-Ibarra<sup>1</sup>

Gabriel Díaz-Padilla<sup>2</sup>

Rafael Alberto Guajardo-Panes<sup>2</sup>

Josué Delgado-Balbuena<sup>3</sup>

1 Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta y Atmósfera-INIFAP. Canal Sacramento km 6.5, Zona Industrial, Gómez Palacio, Durango, México. CP. 3140.

2 Campo Experimental Cotaxtla-INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba km 34.5, Medellín de Bravo, Veracruz, México. CP. 94279.

3 Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar. Carretera Ojuelos-Lagos de Moreno km 8.5, Jalisco, México. CP. 47540.

Autor para correspondencia: [sanchez.ignacio@inifap.gob.mx](mailto:sanchez.ignacio@inifap.gob.mx).

### Resumen

Dentro del proceso de toma de decisiones en el manejo de los recursos hídricos en cuencas, es necesario el conocimiento de las entradas y salidas de agua en el sistema. Este balance hídrico es fundamental para conocer la disponibilidad de agua en tiempo y espacio y apoyar la planeación de los sectores usuarios del agua. El objetivo de este trabajo es presentar una herramienta computacional en la nube (Google Earth Engine) para el cálculo del balance hídrico en cuencas. La herramienta 'Balance hídrico en cuencas' integra bases de datos de información climática y de superficie para calcular el balance hídrico utilizando el método de Thornthwaite y Mather. La plataforma permite al usuario seleccionar una cuenca de interés, un periodo de tiempo y visualizar los resultados en forma de mapas y gráficos. La aplicación fue probada en diversas cuencas de México, demostrando su utilidad para identificar áreas con déficit o superávit hídrico y analizar la variabilidad temporal de los componentes del balance hídrico.

### Palabras clave:

Google Earth Engine, balance hídrico, cuencas hidrológicas, recursos hídricos.



## Introducción

El agua es un elemento crucial para la vida que define el bienestar del ser humano. Ante las vicisitudes climáticas, impulsadas por las acciones del hombre, la incertidumbre en su disponibilidad es cada día más notoria como lo constata la situación de los embalses y acuíferos en el país y el mundo (Gleick, 2014; UN, 2020). En esta tesitura las opciones para mitigar, prevenir y diseñar cursos de acción involucran el conocimiento del balance hídrico de las cuencas considerando a ésta como la unidad fundamental para la planeación de las disponibilidades de agua.

El balance hídrico permite evaluar la cantidad de agua con la que se dispone en un tiempo determinado y básicamente constituye el recuento de lo que entra y sale de un punto de control, lo cual es trascendental para la gestión eficiente de los recursos hídricos. Las variables que involucra el balance hídrico incluyen la precipitación, la evapotranspiración y el escurrimiento, superficial y subterráneo que, al ser cuantificados, ofrecen una visión integral del ciclo del agua en una cuenca (Lijuan *et al.*, 2011; Rodell *et al.*, 2018).

El objetivo del trabajo es presentar un enfoque para calcular el balance hídrico de una cuenca utilizando datos provenientes de diferentes fuentes satelitales. A través de la integración de información de CHIRPS (precipitación), MODIS (evapotranspiración) y GLDAS (escurrimiento), se crea una herramienta interactiva en la plataforma Google Earth Engine (GEE), que permite calcular y visualizar los valores mensuales del balance hídrico. GEE es una plataforma que contiene y analiza información distribuida en el espacio que permite el análisis de grandes volúmenes de datos geoespaciales y satelitales (Schroeder *et al.*, 2014). Su algoritmo se encuentra en 'la nube' siendo su principal ventaja el acceso a una amplia colección de imágenes satelitales y datos geoespaciales, junto con herramientas analíticas avanzadas para realizar procesos de modelación y como auxilio a tomadores de decisiones en diferentes aspectos de los recursos naturales (Gorelick *et al.*, 2017).

La combinación de estos productos satelitales ha demostrado ser efectiva para la cuantificación del balance del agua a gran escala, particularmente en regiones donde las estaciones meteorológicas y los datos de campo son limitados (Hao *et al.*, 2021; Jiménez-Jiménez *et al.*, 2022; Quintana-Molina *et al.*, 2023). La ubicación, el estado de superficie y la precipitación, son aspectos definitorios de la capacidad de una cuenca para producir escurrimiento (Velásquez-Valle *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2022). El balance hídrico, es crucial para estudios de gestión ambiental, planificación de recursos hídricos y la comprensión del impacto del cambio climático en los sistemas hídricos de las regiones seleccionadas.

## Materiales y métodos

### Imágenes satelitales y bases de datos

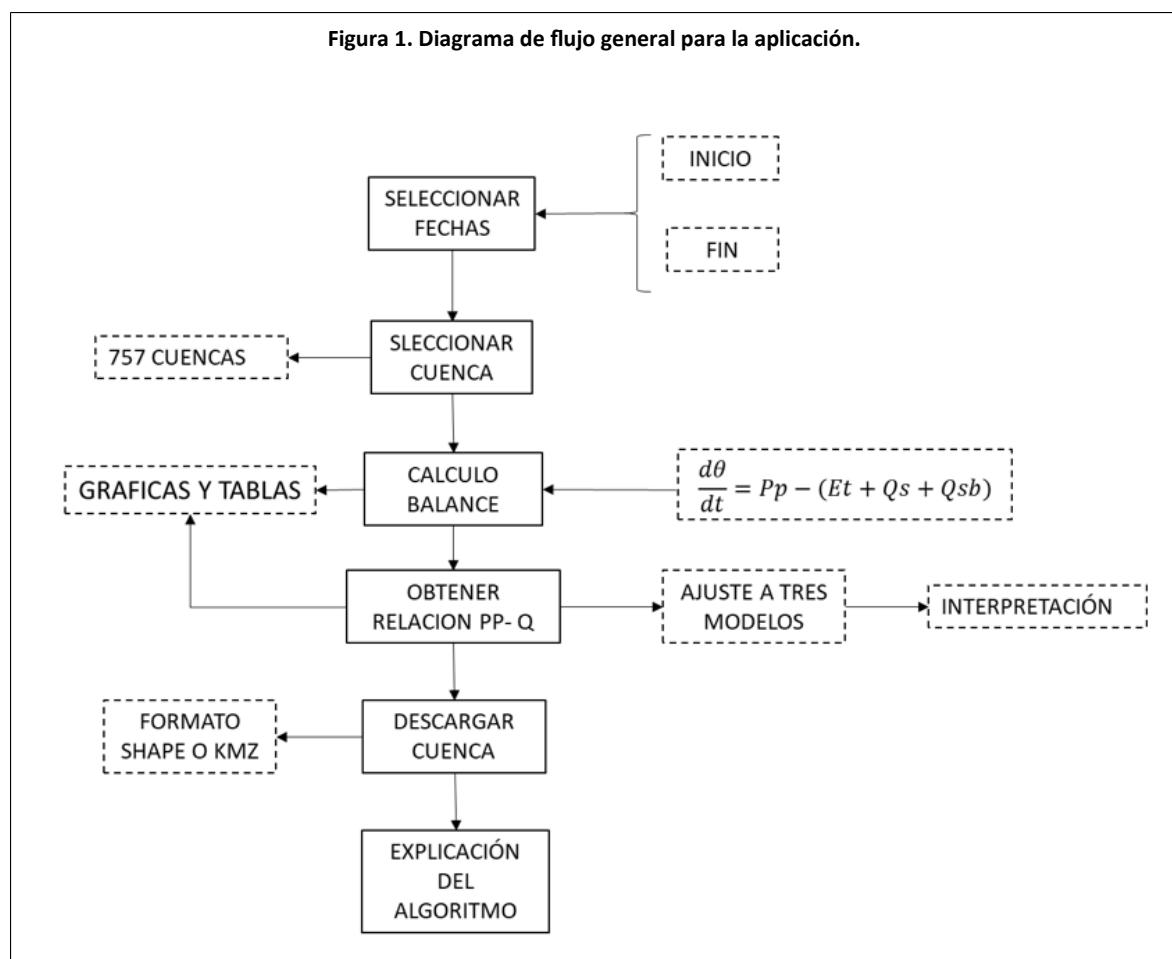
CHIRPS (precipitación). UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY es una colección de imágenes de precipitación diaria basada en observaciones satelitales y datos de estaciones meteorológicas. La aplicación utiliza esta colección para obtener datos de precipitación diaria para el área seleccionada. El objetivo con esta fuente de datos es extraer la cantidad diaria de precipitación (en milímetros) para el área seleccionada y el rango de fechas especificado.

MODIS (evapotranspiración). MODIS/006/MOD16A2, que proporciona estimaciones de evapotranspiración diaria utilizando el sistema de sensores MODIS a partir de satélites de la NASA. Los datos provienen del producto MOD16A2, que tiene una resolución espacial de 500 m y reporta la evapotranspiración (ETr) acumulada durante ocho días.

El conjunto de datos NASA/GLDAS/V021/NOAH/G025/T3H es un producto climático generado por el modelo de simulación de hidrología Global Land Data Assimilation System (GLDAS) de la NASA, que proporciona estimaciones globales de variables hidrológicas y meteorológicas. Este conjunto de datos utiliza el modelo NOAH para representar procesos físicos de la atmósfera, la superficie terrestre y el agua y se encuentra disponible en una resolución espacial de 0.25° (aproximadamente 25 km). El producto T3H hace referencia a la versión de datos a una resolución temporal de 3 h.

## Desarrollo de la aplicación en Google Earth Engine (GEE)

La plataforma GEE permite el acceso a petabytes de imágenes de dominio público, así como también procesamiento en paralelo de alta velocidad y algoritmos de inteligencia artificial usando la infraestructura de Google (Perilla y Mas, 2020). Contiene interfaces de programación compatibles con lenguajes como JavaScript y Python (Jiménez-Jiménez *et al.*, 2022). El diagrama de flujo general de la plataforma para el cálculo del balance hídrico en cuencas se presenta en la Figura 1.



## El modelo de balance

Para la definición del balance hídrico, expresado como la variación del contenido de humedad del suelo en el tiempo, se aplicó la siguiente ecuación:

$$\frac{d\theta}{dt} = Pp - (Et + Qs + Qsb)$$

Donde: Pp= es la precipitación; Et= es la evapotranspiración actual; Qs= es el escurrimiento superficial; y Qsb= el escurrimiento subsuperficial. En la ecuación 1, todas las variables son en milímetros por mes.

## Escurrimiento (Q<sub>s</sub>)

Los modelos numéricos utilizados por GLDAS para el cálculo del escurrimiento superficial y subsuperficial son principalmente NOAH, CLM y VIC, que simulan el flujo de agua en la superficie terrestre mediante la combinación de datos asimilados y modelos de balance. Los datos asimilados se refieren a datos observados que han sido integrados a modelos numéricos para incrementar su precisión (Rodell *et al.*, 2004). Así, los datos combinan observaciones reales con simulaciones provenientes de modelos (Kalnay, 2003). El escurrimiento superficial (Q<sub>s</sub>) en estos modelos ocurre cuando la precipitación (P<sub>p</sub>) excede la capacidad de infiltración del suelo (I<sub>s</sub>). En general, la ecuación de escurrimiento superficial se puede simplificar como:

$$Q_s = \begin{cases} 0 & \text{si } P_p \leq I_s \\ P_p - I_s & \text{si } P_p > I_s \end{cases}$$

## Escurrimiento subsuperficial (Q<sub>sb</sub>)

El escurrimiento subsuperficial (Q<sub>sb</sub>) se refiere al agua que se mueve hacia capas más profundas del suelo debido a la presión del agua, que excede la capacidad de retención en la capa superficial. La ecuación el Q<sub>sb</sub> es de la forma:

$$Q_{sb} = K_s(\theta - \theta_s)$$

Donde K<sub>s</sub> (mm hr<sup>-1</sup>) es una constante de proporcionalidad conocida como conductividad hidráulica que refleja la capacidad del suelo para conducir agua en su matriz cuando ésta ha sido saturada; θ (mm) y θ<sub>s</sub> (mm) son los contenidos de humedad del suelo actual y a saturación respectivamente. La ecuación 1 puede ser resuelta para cualquiera de sus variables, inclusive, se pueden hacer simplificaciones de acuerdo con el objetivo buscado.

## Evapotranspiración

La evapotranspiración es la variable del balance hídrico que más agua extrae del suelo, y adquiere relevancia en zonas de escaso régimen pluvial (Allen *et al.*, 1998). En cuencas, la evapotranspiración puede ser una fracción significativa de la precipitación total, y en cuencas con vegetación densa o con climas cálidos, puede llegar a ser del 50% al 80% de la precipitación anual. Acorde a Allan (2000), la evapotranspiración en una cuenca es el proceso físico que determina la disponibilidad de agua en la región, y su medición es fundamental para una correcta gestión de los recursos hídricos.

El modelo MODIS/006/MOD16A2 utiliza un enfoque empírico para estimar la evapotranspiración real (ETr) a partir de una combinación de datos meteorológicos y de vegetación obtenidos desde satélite. La evapotranspiración potencial (ETo) es uno de los componentes en este proceso. La colección de datos de MODIS/006/MOD16A2, que se utiliza en la aplicación, proporciona estimaciones de evapotranspiración real. Los datos provienen del producto MOD16A2, que tiene una resolución espacial de 500 m y reporta la ETr acumulada durante ocho días.

Para pasar de ETo a ETr el modelo tiene en cuenta varios factores que afectan la ETr como el índice de vegetación y el flujo de calor del suelo.

**Índice de vegetación (NDVI):** para ajustar la transpiración en función de la densidad y el tipo de vegetación.

**Disponibilidad de agua en el suelo:** en el caso de que haya estrés hídrico, la evapotranspiración se reduce. Esto se ajusta en el modelo mediante coeficientes que indican la limitación de la disponibilidad de agua.

**Resistencia de la superficie:** refiere a cómo la vegetación y el suelo o la superficie impiden que el agua se evapore, lo cual depende del tipo de cobertura y las condiciones climáticas (Reyes *et al.*, 2019).

**Flujo de calor del suelo:** también es importante para estimar la evapotranspiración real, ya que el calor absorbido por la superficie afecta tanto la evaporación como la transpiración.

**Factor de ajuste para la disponibilidad de agua:** MODIS ajusta la ETo para reflejar las condiciones reales de humedad del suelo y de la vegetación. Si la disponibilidad de agua es alta (en áreas con mucha lluvia o riego), la ETr será cercana a la ETo, pero si la disponibilidad de agua es baja (en áreas secas), la ETr será menor que la ETo.

## Validación

Para garantizar la buena proyección del balance hídrico en cualquier cuenca hidrológica, es necesario corroborar los datos de las plataformas con datos medidos en el campo. En este sentido, para la variable ETr, se utilizaron datos de una estación Eddy (Eddy Covariance) ubicada en el área experimental del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Agricultura Familiar del INIFAP. El sitio de medición tiene un clima semiárido con precipitación media anual de 424 mm y temperatura promedio anual de 17.5 °C. La topografía es dominada por valles y colinas onduladas con suelos tipo xerosol háplico (Delgado *et al.*, 2019). La base de datos consiste en una serie de tiempo de cinco años en base diaria de información ETr y de precipitación. También se contó con datos de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Se utilizaron dos índices para esto: Correlación de Pearson y Coeficiente de Jaccard. El primero para validar los datos de escurrimiento y ETr y el segundo para obtener el grado de similitud del tiempo de arribo (tiempo de ocurrencia) de la precipitación pluvial. La ecuación de Pearson mide la magnitud (positiva o negativa) de la relación lineal entre dos variables continuas. La fórmula general de la correlación de Pearson es:

$$r = \frac{4}{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})} \sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}$$

Donde: x e y son las variables para comparar. Mientras más cercano el valor a la unidad, la correlación entre las variables es mejor. Como se ha asentado, en términos de precipitación, más importante que las cantidades de ésta en estudios de comparación, es el tiempo de arribo; es decir, el momento al que ocurren los eventos de lluvia. Para esta descripción, se utilizó el coeficiente de Jaccard aplicado a las dos series de tiempo (MODIS y Torre Eddy). El coeficiente de Jaccard se define como una medida de similitud entre dos series de datos y se expresa como:

$$J_{1,2} = \frac{J_1 \cap J_2}{J_1 \cup J_2}$$

Donde:  $J_1 \cap J_2$ = es el número de elementos comunes en ambas series y  $J_1 \cup J_2$ = son todos los elementos presentes en al menos una de las series. Existen diferentes paquetes computacionales que analizan este coeficiente, un ejemplo es el software R (García-Codron *et al.*, 2004).

## Resultados y discusión

### Desarrollo de la plataforma

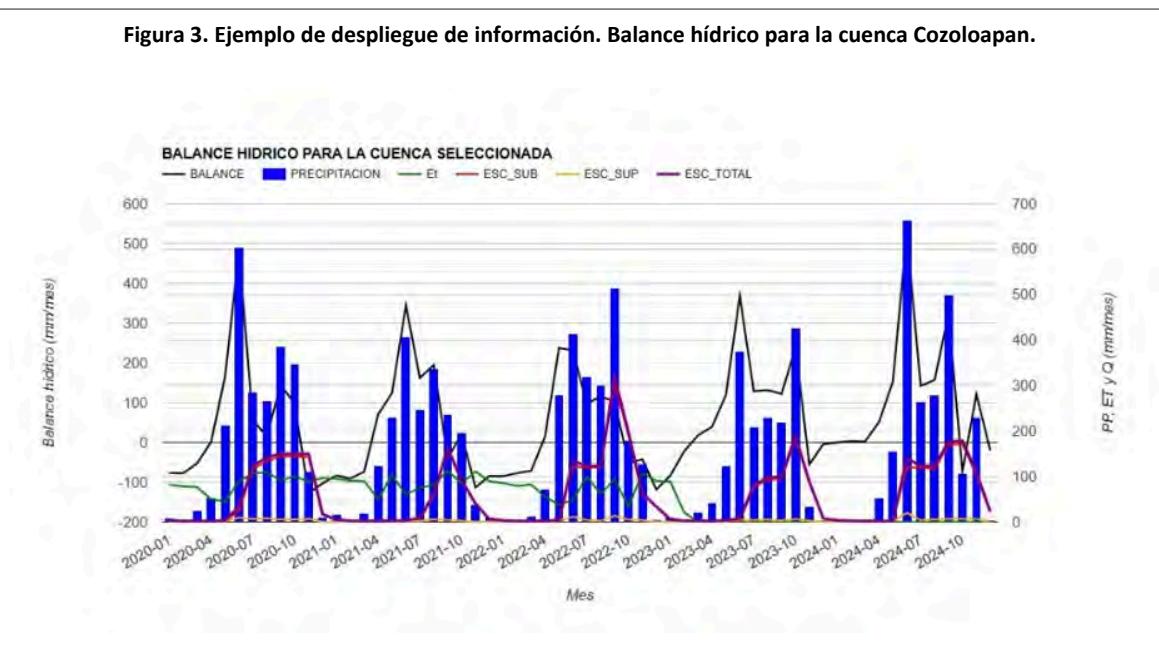
La Figura 2 muestra la interfaz general de la aplicación la cual contiene un menú general y ‘combos’ para seleccionar variables. El usuario deberá ingresar una fecha de inicio del balance hídrico y una fecha final. En este sentido, considerando las escalas de tiempo de las diferentes fuentes de datos, la aplicación propone las fechas que aparecen por default en la consola.

**Figura 2.** Interfaz general de la plataforma GEE para balance hídrico en cuencas.  
<https://tatiyoma85.users.earthengine.app/view/balance-hidrico-en-cuenca>.



Esto cambiará conforme se vayan actualizando las fuentes de información. Sin embargo, el usuario podrá elegir un subrango de interés. También se deberá elegir una cuenca. La plataforma incluye las 757 cuencas en las que la Comisión Nacional del Agua ha discretizado la hidrología del país (CNA, 2021). Toda vez que se ha seleccionado una cuenca del combo, se realizará, automáticamente, un acercamiento a la cuenca elegida. El balance hídrico de la cuenca elegida se obtendrá al presionar el botón ‘calcular balance’. La salida de este balance es en forma gráfica y tabular (Figura 3). Se puede elegir diferentes cuencas para hacer comparaciones entre ellas en términos de la relación precipitación escurrimiento.

**Figura 3.** Ejemplo de despliegue de información. Balance hídrico para la cuenca Cozoloapan.



La opción de obtener la relación precipitación-escurrimiento, despliega tres modelos de ajuste para que el usuario tenga una apreciación más objetiva de las capacidades de la cuenca de producir escurrimiento. También se despliega una interpretación de los modelos ajustados (Figura 4). Estos

modelos son el lineal, el potencial y exponencial. La razón de esto es porque el escorrentamiento se comporta de diferentes maneras en los distintos regímenes pluviométricos del país. Así, el ajuste dependerá de la respuesta de esta variable en las diferentes cuencas.

**Figura 4. Relación precipitación-escorrentamiento para la cuenca elegida e interpretación del mejor modelo de ajuste.**



El usuario puede descargar el archivo de la cuenca elegida en formato Shape para uso en algún sistema de información geográfica o KML para visualización en Google Earth.

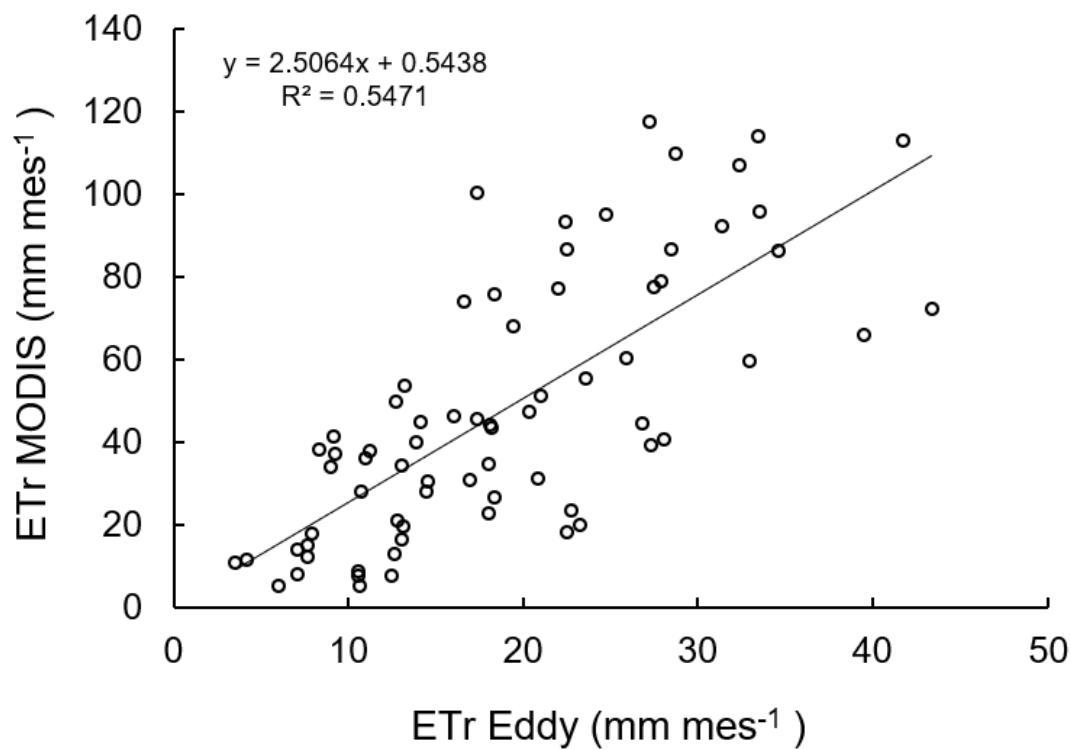
## Validación

Para el presente caso, el coeficiente de Jaccard para la precipitación arrojó un valor de 0.5 indicando que existe una similitud en el tiempo de ocurrencia de las precipitaciones del 50% lo que se considera aceptable dada las diferentes fuentes y escalas de las series de tiempo comparadas (Real y Vargas, 1996). En cuanto a la similitud entre los datos de evapotranspiración del satélite MODIS y los datos medidos con una torre de Eddy Covariancia, el coeficiente de Pearson arroja un valor de 0.65. Estudios realizados por Zhang *et al.*, 2015 obtuvieron resultados similares al comparar eficiencia del uso del agua, donde la evapotranspiración juega un papel preponderante, con la torre Eddy habiendo obtenido un coeficiente de Pearson de 0.6 a 0.8.

Debe aclararse, como se menciona en Delgado *et al.*, 2019, que la torre estuvo instalada en un pastizal de una región semiárida; sin embargo, el ‘foot print’ (área de influencia en las mediciones), sobrepasa los límites del área de pastizal involucrando vegetación nativa de la región lo que fortalece la similitud con los datos de evapotranspiración del satélite MODIS (Figura 5).

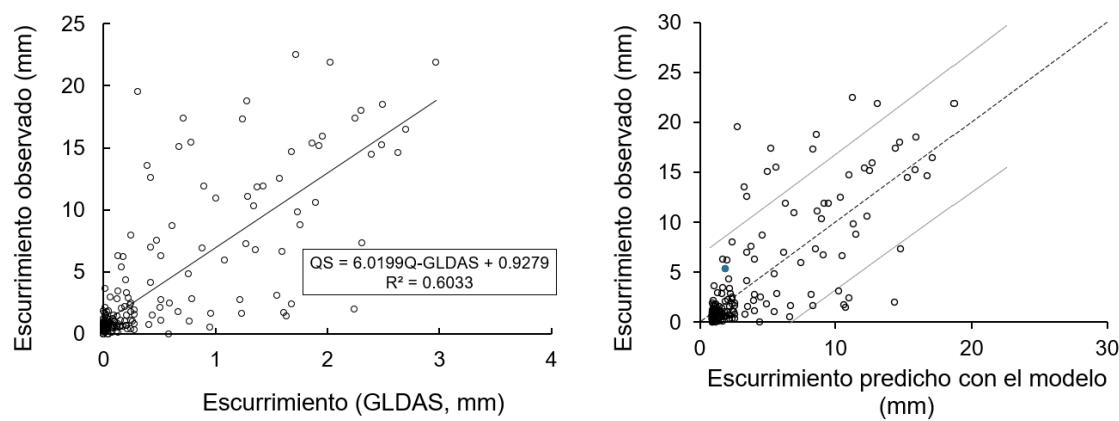


**Figura 5.** Relación entre datos de evapotranspiración real (ETr) medidos con la torre de flujo Eddy Covariance y datos del sistema MODIS.



Con relación al escurrimiento, se utilizaron datos de esta variable medido en una de las cuencas del río Yaqui (Rio Yaqui 1). La variabilidad del escurrimiento es explicada en un 60% por los datos de reanálisis (Figura 6).

**Figura 6.** Para el escurrimiento, los datos de GLDAS explican el 60% de la variabilidad de la variable dependiente (Cuenca Rio Yaqui 1). Derecha, capacidad predictiva del modelo.



Lo reportado por Zhao *et al.*, 2015, obtuvieron resultados similares en diferentes cuencas en China donde compararon datos de escurrimiento observados con simulaciones derivadas de GLDAS evaluando su aplicabilidad para modelación hidrológica.

## Conclusiones

La aplicación balance hídrico en cuencas, constituye una herramienta integral para análisis hidrológico en cuencas usando Google Earth Engine. Integra varias fuentes de información de una manera efectiva además de proveer de una interfaz amigable con el usuario. Permite un análisis de los componentes del balance hidrológico y de la relación precipitación-escurrimiento en donde se analizan tres modelos de regresión: lineal, exponencial y potencial eligiendo el de mejor ajuste y explicando el significado de sus parámetros. La aplicación provee de opciones para descargar la información de la cuenca y ofrece una explicación detallada de los cálculos.

## Bibliografía

- 1 Allan, J. A. 2000. Virtual water: A strategic resource in international food policy and water policy. *International Journal of Water Resources Development*. 15(1):61-75.
- 2 Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 3-13 pp. <http://www.fao.org/3/X0490E/x0490e00.html>.
- 3 CNA. 2021. Estadísticas del agua en México. 42-52 pp. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM%202021.pdf>.
- 4 Delgado, B. J.; Arredondo, J. T.; Loescher, H. W.; Pineda-Martínez, L. F.; Carbajal, J. N. and Vargas, R. 2019. Seasonal precipitation legacy effects determine the carbon balance of a semiarid grassland. *Journal of Geophysical Research: biogeosciences*. 124(4):987-1000. <https://doi.org/10.1029/2018JG004799>.
- 5 García-Codron, J. C.; Diego-Liaño, C.; Fdez-Arróyabe, H. P.; Garmendia-Pedraja, C. y Rasilla Álvarez, D. 2004. El clima entre el mar y la montaña. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria. 619-628 pp.
- 6 Gleick, P. H. 2014. Water security: The water-food-energy-climate nexus. *Science*. 345(6198):318-322. <https://doi.org/10.1126/science.1258852>.
- 7 Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D. and Moore, R. 2017. Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*. 202(1):18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>.
- 8 Hao, Z.; Chen, X. and Zhang, X. 2021. Satellite-based hydrological modeling and water resource management. *Remote Sensing*. 13(12):2423. <https://doi.org/10.3390/rs13122423>.
- 9 Jiménez-Jiménez, S.; Marcial, P. M. J.; Ojeda, B. W.; Sifuentes, B. E.; Inzunza, M. A. and Sanchez, C. I. 2022. VICAL: global calculator to estimate vegetation indices for agricultural areas with landsat and sentinel-2 Data. *Agronomy*. 12(7):1518. Doi:10.3390/agronomy12071518.
- 10 Kalnay, E. 2003. Atmospheric modeling, data assimilation and predictability. Cambridge University Press. 150-170 pp. <https://assets.cambridge.org/9780521796293-frontmatter.pdf>.
- 11 Li, Y.; Wang, Z. and Zhang, L. 2022. Impact of terrain and land use on hydrological modeling accuracy in large basins using satellite-derived data. *Journal of Hydrology*, 599:126306. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126306>.

- 12 Lijuan, C.; Yong, Z. and Ying, S. 2011. Climate change effect on hydrological processes over the Yangtze River basin. *Quaternary International*. 244(2):202-210 <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.01.004>.
- 13 Perilla, G. A. and Mas, J. F. 2020. Google Earth Engine (GEE): una poderosa herramienta que vincula el potencial de los datos masivos y la eficacia del procesamiento en la nube. *Investigaciones Geográficas*, (101). <https://doi.org/10.14350/ig.59929>.
- 14 Quintana-Molina, J. R.; Sánchez-Cohen, I.; Jiménez-Jiménez, S. I.; Marcial-Pablo, M. J.; Trejo-Calzada, R. and Quintana-Molina, E. 2023. Calibration of volumetric soil moisture using Landsat-8 and Sentinel-2 satellite imagery by Google Earth Engine. *Revista de Teledetección*. 62:21-38. <https://doi.org/10.4995/raet.2023.19368>.
- 15 Real, R. and Vargas, J. M. 1996. The probabilistic basis of Jaccard's index of similarity. *Systematic Biology*. 45(3):380-385. <https://doi.org/10.1093/sysbio/45.3.380>.
- 16 Reyes, J.; Pérez, M. y Rodríguez, L. 2019. Modelamiento de evapotranspiración en cultivo utilizando índices de vegetación obtenidos con sensores remotos Sentinel-2: Caso de estudio desarrollado en CENICAÑA 2019-2020. 83 p.
- 17 Rodell, M.; Velicogna, I. and Famiglietti, J. S. 2018. Satellite-based estimates of groundwater depletion in India. *Nature*. 460(7258):999-1002. <https://doi.org/10.1038/nature08238>.
- 18 Rodell, M.; Houser, P. R.; Jambor, U.; Gottschalck, J.; Mitchell, K.; Arsenault, K. and Lohmann, D. 2004. The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 85 (3):381-394.
- 19 Schroeder, W.; Sulla-Menashe, D. and Giglio, L. 2014. The MODIS active fire detection algorithm and data products: an overview. *Remote Sensing of Environment*. 178(216):370-380. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.07.028>.
- 20 United Nations. 2020. The United Nations world water development report. Water and climate change. UNESCO. 79-94 pp. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372983>.
- 21 Velásquez-Valle, M. A.; Sánchez-Cohen, I. and Hawkins, R. H. 2017. Rainfall runoff relationships in a semiarid rangeland watershed in central Mexico based on the CN-NRCS approach. *Model. Earth Syst. Environ.* 3(2):1263-1272. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0379-8>.
- 22 Zhang, L.; Tian, J. and He, H. 2015. Evaluation of water use efficiency derived from MODIS products against eddy variance measurements in China. *Remote Sensing*. 7(9):11183-11201.
- 23 Zhao, F.; Tang, Q.; Liu, X. and Zhang, X. 2015. Assessing the performance of remotely sensed precipitation and GLDAS hydrological variables in streamflow simulation in the Huaihe river basin, China. *Hydrology and Earth System Sciences*. 19(5):2201-2213. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2201-2015>.
- 24 Zhang, L.; Liu, D. and Zhou, Y. 2020. Evaluation of remote sensing-based precipitation datasets for hydrological applications. *Journal of Hydrometeorology*. 21(4):919-934. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-19-0120.1>.



## Balance hídrico en cuencas hidrológicas. Una aplicación basada en Google Earth Engine

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc.
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 November 2025
Date accepted: 01 February 2026
Publication date: 01 January 2026
Publication date: Jan-Feb 2026
Volume: 17
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3890
DOI: 10.29312/remexca.v17i1.3890
Publisher ID: 00006

### Categories

**Subject:** Artículos

### Palabras clave:

**Palabras clave:**  
Google Earth Engine  
balance hídrico  
cuencas hidrológicas  
recursos hídricos

### Counts

**Figures:** 6

**Tables:** 0

**Equations:** 5

**References:** 24