

Evaluación del proceso para el cálculo óptimo de las necesidades de riego para cultivos en la región de Azuero

Omar Sánchez ¹, Roberto Marano, PhD ³, Yessica Saéz, PhD ^{1,2}, Edwin Collado, PhD ^{1,2}

¹ Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá, {omar.sanchez3, yessica.saez, edwin.collado} @utp.ac.pa

² Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología - AIP (CEMCIT-AIP), Panamá

³ Universidad Nacional del Litoral, Argentina, rmarano@fca.unl.edu.ar

* Autor de correspondencia: yessica.saez@utp.ac.pa

Resumen—Cuando se habla del requerimiento hídrico en los cultivos se reconoce la evapotranspiración (ET) como variable fundamental a determinar. Generalmente se usan funciones empíricas para determinar la evapotranspiración. Sin embargo, modelos de simulación biofísica de cultivos como CROPWAT, han permitido estimar el requerimiento hídrico de muchos cultivos de forma sencilla. La región de Azuero, Panamá, se caracteriza por tener bajas precipitaciones y sequías prolongadas durante el año. Sobre todo, durante el del fenómeno de El Niño que se manifiesta de manera cíclica de 2 a 7 años. Debido a esto, la ganadería y agricultura de esta región se ven muy afectadas en la época seca. Los estudios realizados en Panamá muestran que el uso de herramientas o simuladores biofísicos permiten la planificación, lo que se reduce en un ahorro de agua al evitar el riego innecesario y una seguridad alimentaria al evitar que los cultivos sufran estrés. Sin embargo, las metodologías presentadas solo se dirigen a comparar un solo método y no se presenta la veracidad de lo simulado con la realidad. Es por esta razón que el objetivo de este estudio es determinar el proceso óptimo para establecer las necesidades hídricas de cultivos necesarios para la región de Azuero, utilizando modelos de simulación. Con el fin de seleccionar el método que presente un mejor manejo del agua (porcentaje de ahorro) para su posterior calibración. El alcance de esta investigación permitirá el desarrollo de un mecanismo eficiente para el ahorro de agua en riego, para su posterior uso con otros cultivos de la región de Azuero, Panamá.

Palabras claves—CROPWAT, evapotranspiración, porcentaje de ahorro de agua, simulador

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla del requerimiento hídrico en los cultivos, se reconoce la evapotranspiración como variable fundamental a determinar [1]. Generalmente se usan funciones empíricas para determinar la evapotranspiración. Sin embargo, modelos de simulación biofísica de cultivos, como CROPWAT, han permitido estimar el requerimiento hídrico de muchos cultivos de forma sencilla [2], [3].

CROPWAT es una herramienta de simulación desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), para la estimación de los requerimientos hídricos de los cultivos y la planificación del riego, basado en información del suelo y clima [4].

Otros autores han hecho uso de CROPWAT, con el propósito de evaluar los posibles escenarios para el cultivo de interés,

encontrando momentos de mayor implementación de riego por falta de lluvia [5], zonas donde se debe cultivar plantas de menor requerimiento hídrico por dificultades de implementación de sistemas de riego y falta de lluvia [6], o mejoramiento del rendimiento de cultivo ya trabajado utilizando una planificación de riego basada en los requerimientos de la planta [7].

Algunos estudios se han realizado en Panamá utilizando herramientas para estimar la evapotranspiración en cultivos. Por ejemplo, [8] utilizó ArcGIS Pro para procesar la evapotranspiración extraída de la aplicación web Earth Engine Evapotranspiration Flux (EEFlux), para el período (diciembre 2020 - abril 2021) de tres fincas cafeteras de la región de Veraguas. Los resultados arrojaron que solo para el mes de diciembre no era necesario regar, ya que las precipitaciones cubrían el requerimiento del café. Además, se encontró que el uso de imágenes satélites para regiones nubosas no es recomendado, ya que la obtención de datos puede influenciarse debido a este fenómeno.

Por otro lado, [9] realizó un estudio para determinar las necesidades de riego para el arroz y maíz en Chiriquí-Panamá, para el período de enero a mayo del 2019, con información de dos estaciones meteorológicas ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S.A.) y FCA-UP (Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad de Panamá) utilizando CROPWAT para el procesamiento de esta información. Los resultados mostraron que los valores más bajos de riego por área para el arroz vinieron producto de los datos de la estación de ETESA y para el maíz de la estación de FCA-UP.

La región de Azuero, Panamá, se caracteriza por tener bajas precipitaciones y sequías prolongadas durante el año. Sobre todo durante el del fenómeno de El Niño que se manifiesta de manera cíclica de 2 a 7 años. Debido a esto, la ganadería y agricultura de esta región se ve muy afectada en la época seca [10].

Los estudios realizados en Panamá, muestran que el uso de herramientas o simuladores biofísicos permiten la planificación, lo que se reduce en un ahorro de agua al evitar riego innecesario y una seguridad alimentaria al evitar que los cultivos sufran estrés. Sin embargo, las metodologías presentadas solo se dirigen a comparar un solo método y no

se presenta la veracidad de lo simulado con la realidad.

Es por esta razón que el objetivo de este estudio es determinar el proceso óptimo para establecer las necesidades hídricas de cultivos necesarios para la región de Azuero, utilizando modelos de simulación. Con el fin de seleccionar el método que presente un mejor manejo del agua (porcentaje de ahorro) para su posterior calibración. El alcance de esta investigación permitirá utilizar una herramienta para la toma de decisiones de tanto planificadores como productores panameños.

II. MATERIALES Y METODOLOGÍA

A. Materiales

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán las siguientes herramientas:

- Climate Engine (TerraClimate y CPS) [11] y CLIMWAT (Información de estación ETESA-La Villa de Los Santos) [12], para la recolección de datos de clima.
- CROPWAT, para la simulación de los datos de clima, el cultivo de prueba y obtener la estimación del requerimiento de riego.
- INFOSTAT, para la validación del sistema simulado a través de un modelado simple.

B. Metodología

La metodología propuesta se basará en un modelo de sistema compuesto de 3 partes: datos de entrada (temperatura máxima, temperatura mínima, velocidad del viento, humedad relativa y precipitación), procesamiento de información y datos de salida (requerimiento de riego en mm). Para evaluar este modelo de sistema, se realizará una calibración en el simulador con los datos de entrada, una simulación con parámetros de riego y una validación comparando los datos de salida con valores experimentales de un sistema de riego automatizado [13], [14]. Se comprobará la metodología con el cultivo de maíz.

Para facilitar la comprensión de las evaluaciones, se referirá como método 1 a aquel que usará información proveniente de CLIMWAT (Estación de ETESA). Mientras que el método 2 se referirá a aquel que usará la información proveniente de Climate Engine (TerraClimate y CPS).

C. Recolección de datos meteorológicos

En la recolección de los datos de entrada se utilizó la información que presenta CLIMWAT para la región de Azuero (Estación de ETESA ubicada en La Villa de Los Santos - ubicada en las coordenadas 7.95N, -80.41W) y el programa web Climate Engine. El lugar seleccionado para hacer el estudio y medición de las variables para la estimación de la evapotranspiración del cultivo, se encuentra ubicado en La Villa de Los Santos, Panamá, ubicado en las coordenadas 7.909463N, -80.364261W (ver figura 1).

Dentro del entorno de Climate Engine, se ajustó las coordenadas a las mencionadas para el lugar de estudio, para extraer las mismas variables que con la estación de ETESA. En estas coordenadas se utilizó la información de TerraClimate y CPS (ver figura 2).

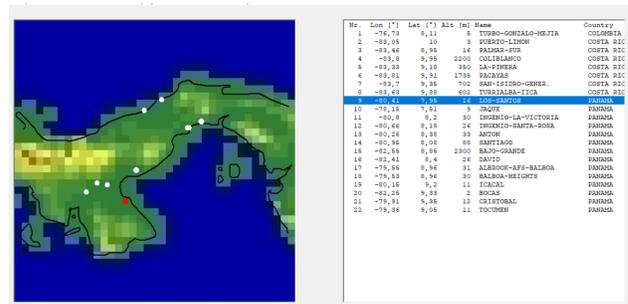


Figura 1. Entorno de CLIMWAT

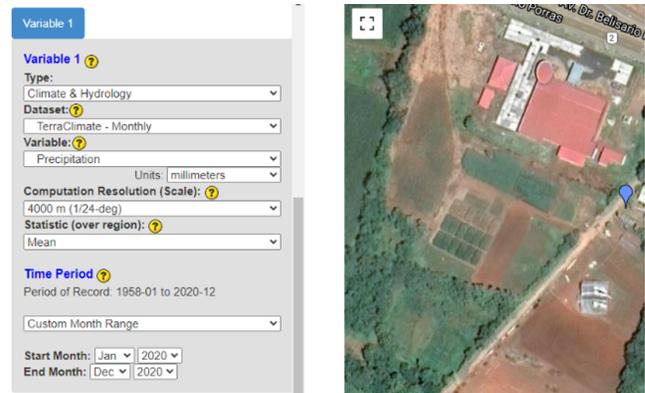


Figura 2. Entorno de CLIMATE ENGINE

D. Calibración

Teniendo los datos recolectados de cada variable de entrada para el estudio, se procederá a ingresarlos a CROPWAT para la calibración del modelo.

1) *Clima*: Los requerimientos para esta sección serán las variables extraídas de la metodología 1 y 2. Se ingresará temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa y velocidad del viento. A partir de esta información, el programa estimará las horas sol y la radiación del lugar, y estimará la evapotranspiración de referencia (ET_o) con la ecuación de Penman-Monteith [15].

Por otro lado, los datos de lluvia sustraídos se ingresarán en la tabla de precipitación, para obtener la precipitación efectiva. Este dato se obtendrá de la estimación confiable de FAO/AGLW (Animal Production and Health Division).

2) *Cultivo*: Para la sección del cultivo, se ingresará los valores del coeficiente del cultivo maíz (K_c), los días para cada etapa de desarrollo fenológico, profundidad radicular, agotamiento crítico, función de respuesta al rendimiento y la altura máxima del cultivo. Más información se encuentra en la referencia [16], en el capítulo 5 y 6.

3) *Suelo*: En la sección del suelo se ingresará el agua totalmente disponible, la tasa máxima de infiltración de precipitación, profundidad radicular máxima, agotamiento inicial del agua totalmente disponible.

Por falta de información de calidad sobre estudios de los diferentes suelos de la región de Azuero y sus características

hidro-físicas, se decidió trabajar con el archivo de suelo Arcilloso-Arenoso de CROPWAT. De la revisión del arte hecha se encontró que este tipo de suelo es el que más facilidad se han desarrollado cultivos en la zona de Azuero [17].

E. Simulación

Para la programación del riego se seleccionará una frecuencia basada en dejar regar hasta que el sustrato llegue al agotamiento crítico (más información en el capítulo 8 de [16]), y una aplicación hasta llegar a capacidad de campo.

La eficiencia del riego, definida como "la relación entre el agua utilizada para regar y el agua que se evaporó o que escapó del área de riego", será del 80 % [18], dado que se desea los valores de riego para un sistema de riego por goteo superficial.

F. Validación

La data de salida proveniente de CROPWAT se utilizará para estimar el porcentaje de agua ahorrado, representado en litros de agua, en comparación con [17] para un área de cultivo.

Por otro lado, para revisar el error de los datos de salida de CROPWAT, se realizará un modelo lineal simple entre los valores simulados y los experimentales. Se utilizará una bondad que se valorará con el coeficiente de determinación (R^2), la pendiente de la regresión y la raíz del error cuadrático medio (RMS).

III. PRODUCTOS ESPERADOS

Al final de la investigación, se obtendrá 2 gráficas que representarán el comportamiento del riego para el maíz utilizando la metodología 1 y 2, una gráfica de barra que compare el porcentaje de agua de cada metodología con los valores actuales usados y recomendados por [17]. Además, dos gráficos para el modelo lineal, comparando los valores de riego simulados con los experimentales.

Por otro lado, se obtendrá una relación matemática que permitirá calibrar los resultados simulados provenientes de CROPWAT para el sistema de riego automatizado.

Al final, el alcance de esta investigación permitirá el desarrollo de un mecanismo eficiente para el ahorro de agua en riego, para su posterior uso con otros cultivos de la región de Azuero, en Panamá.

REFERENCIAS

- [1] E. Castillo, O. Delgado, H. D. León, L. Escartin, Y. Saéz, and E. Collado, "Mejoramiento del uso de suelo en la agricultura mediante herramientas basadas en optimización," vol. 17.
- [2] R. A. Ramírez and V. Montiel, "Programa CROPWAT para planeación y manejo del recurso hídrico."
- [3] H. Flores-Gallardo, W. Ojeda-Bustamante, H. Flores-Magdaleno, E. Sifuentes-Ibarra, and E. Mejía-Saénz, "Simulación del rendimiento de maíz (zea mays l.) en el norte de sinaloa usando el modelo aquacrop," *Agrociencia*, vol. 47, no. 4, pp. 347–359, 2013.
- [4] CropWat | land & water | food and agriculture organization of the united nations | land & water | food and agriculture organization of the united nations. [Online]. Available: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- [5] O. Moseki, M. Murray-Hudson, and K. Kashe, "Crop water and irrigation requirements of jatropha curcas l. in semi-arid conditions of botswana: applying the CROPWAT model," vol. 225, p. 105754. [Online]. Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377418319887>
- [6] M. E. Gabr, "Modelling net irrigation water requirements using FAO-CROPWAT 8.0 and CLIMWAT 2.0: a case study of tina plain and east south ElKantara regions, north sinai, egypt," vol. 68, no. 10, pp. 1322–1337. [Online]. Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2021.1892650>
- [7] U. Surendran, C. M. Sushanth, E. J. Joseph, N. Al-Ansari, and Z. M. Yaseen, "FAO CROPWAT model-based irrigation requirements for coconut to improve crop and water productivity in kerala, india," vol. 11, no. 18, p. 5132. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/18/5132>
- [8] K. Castillo, R. Ortega, and C. De León, "Análisis comparativo de la evapotranspiración para el cálculo de la demanda hídrica de café en la parte alta de la cuenca del río santa maría," pp. 263–270. [Online]. Available: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/apanac/article/view/3195>
- [9] R. J. Ortega Justavino, "Determinación de las necesidades de riego del arroz y maíz en el distrito de David, Provincia de Chiriquí, República de Panamá," vol. 2, no. 2, pp. 1–14.
- [10] A. Martínez, Z. Rodríguez, and J. Fábrega Duque, "Estimación y análisis de la demanda hídrica de la subcuenca del río estibáná como parte del balance hídrico (2018-2019)," pp. 205–211. [Online]. Available: <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/apanac/article/view/3185>
- [11] J. L. Huntington, K. C. Hegewisch, B. Daudert, C. G. Morton, J. T. Abatzoglou, D. J. McEvoy, and T. Erickson, "Climate engine: Cloud computing and visualization of climate and remote sensing data for advanced natural resource monitoring and process understanding," vol. 98, no. 11, pp. 2397–2410. [Online]. Available: <https://journals.ametsoc.org/doi/10.1175/BAMS-D-15-00324.1>
- [12] CLIMWAT | land & water | food and agriculture organization of the united nations | land & water | food and agriculture organization of the united nations. [Online]. Available: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/en/>
- [13] M. Poveda, E. Collado, and Y. Saez, "Optimización de la programación del tiempo de riego para reducir el consumo de agua en cultivos," in *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities"*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions. [Online]. Available: <http://laccei.org/LACCEI2019-MontegoBay/meta/FP23.html>
- [14] H.-H. Zhu, Y.-X. Huang, H. Huang, A. Garg, G.-X. Mei, and H.-H. Song, "Development and evaluation of arduino-based automatic irrigation system for regulation of soil moisture," vol. 8, no. 1, p. 13. [Online]. Available: <https://link.springer.com/10.1007/s40891-022-00360-8>
- [15] J. Cai, Y. Liu, T. Lei, and L. S. Pereira, "Estimating reference evapotranspiration with the fao penman–monteith equation using daily weather forecast messages," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 145, no. 1–2, pp. 22–35, 2007.
- [16] F. E. del Cultivo, "Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, ; fao: Rome, italy, 2006," *Google Scholar*.
- [17] MIDA. [Online]. Available: <https://mida.gob.pa/wp-content/uploads/2021/04/CATALOGO-RUBROS.pdf>
- [18] J. A. M. Trejo, Á. O. G. Monsivais, J. O. Ramírez, A. Z. González, E. R. Cerda, M. F. Hernández, E. S. Sosa, and R. A. Nuncio, "Efecto de tres profundidades de cinta de riego por goteo en la eficiencia de uso de agua y en el rendimiento de maíz forrajero," *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 44, no. 3, pp. 359–364, 2006.