

Desarrollo de un modelo de balance hídrico para el cultivo de palma de aceite en Colombia

Tulia E. Delgado¹, Arley D. Zapata¹, Greydy S. Ladino¹, José J. Monroy², Nólver A. Arias¹, Osmar R. Barrera³

¹Área de suelos y aguas, ²Superintendente del Campo Experimental Palmar de la Sierra, ³Área de geomática
Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma. Autora para correspondencia: tdelgado@cenipalma.org

Introducción

Ante los desafíos del cambio climático y la variabilidad climática que amenazan la sostenibilidad de los cultivos, la gestión eficiente del agua se ha convertido en una prioridad esencial para el sector palmicultor. En este contexto, es fundamental contar con tecnologías y herramientas que permitan un uso sostenible de este recurso, garantizando la productividad y resiliencia de los sistemas agrícolas.

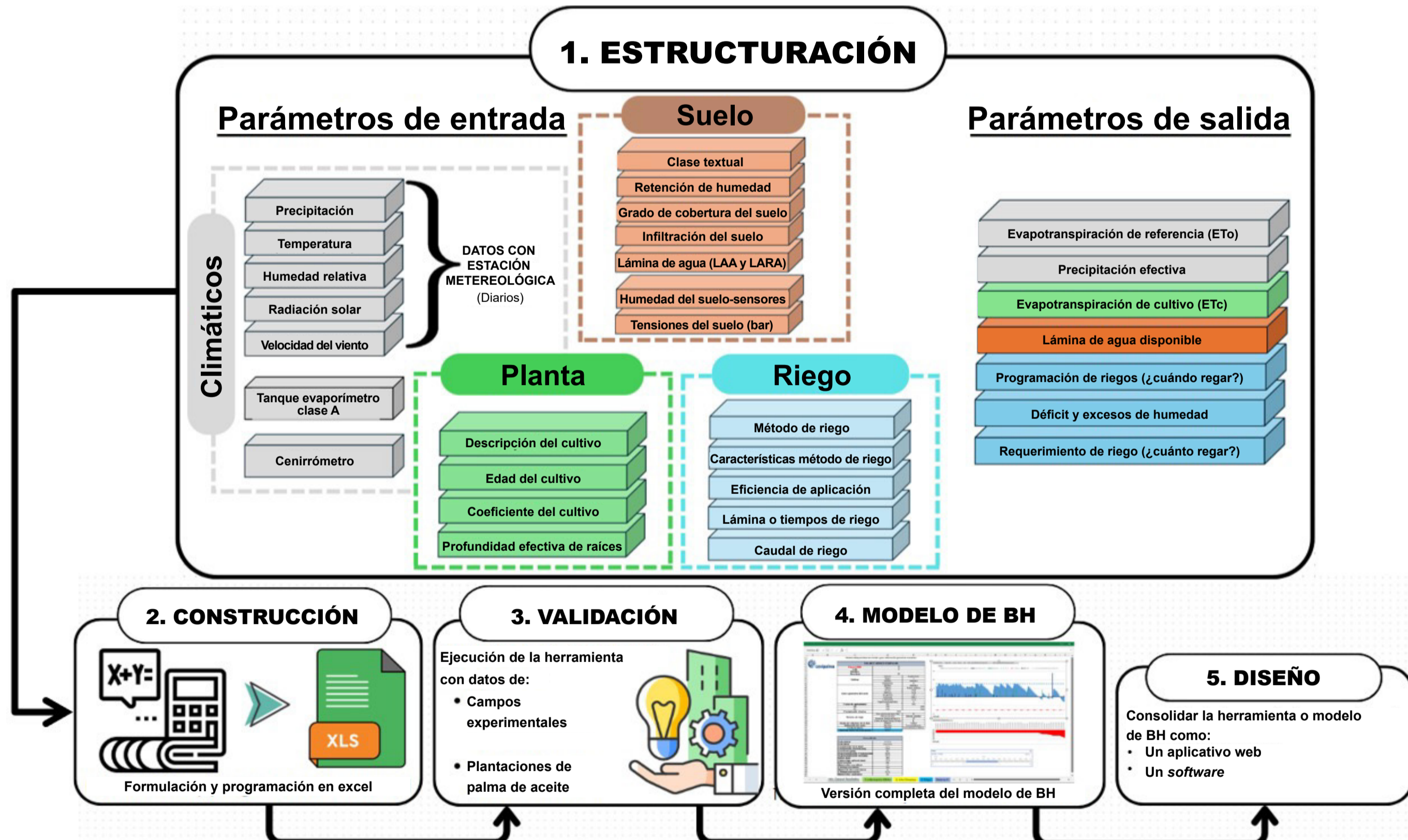
Una de estas herramientas es el balance hídrico, que permite a los palmicultores monitorear y optimizar el recurso hídrico al determinar la cantidad disponible de agua en el suelo, facilitando así la toma de decisiones adecuadas sobre riego. Sin embargo, su implementación ha sido limitada, en parte debido a la complejidad y al tiempo que requiere su cálculo y en otros casos, por no considerar todos los parámetros necesarios para su cálculo.

Por ello desde Cenipalma, se planteó como objetivo desarrollar un modelo de balance hídrico preciso y adaptado a las condiciones del cultivo de palma de aceite, que sea práctico y accesible para los palmicultores. A través de metodologías adecuadas y procesos de automatización (*software*), esta herramienta permitirá definir con precisión los requerimientos de riego en términos de cantidad, frecuencia y tiempo, simplificando y optimizando así la gestión del agua en los cultivos agrícolas.

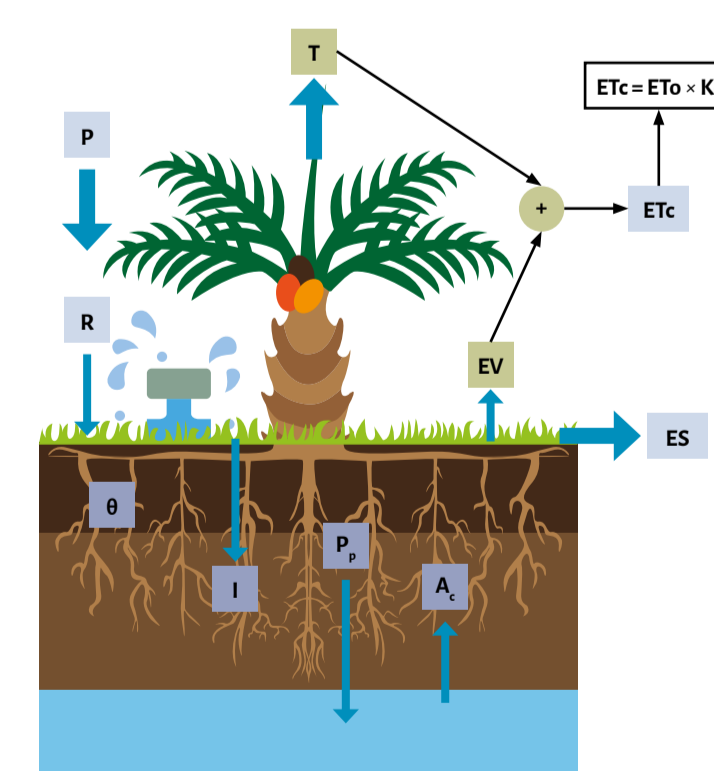
Objetivos

- Contribuir con el uso eficiente del agua en las zonas de cultivo de palma de aceite en Colombia mediante el desarrollo de un modelo de balance hídrico que optimice la gestión del riego.
- Consolidar un modelo de balance hídrico que se integre a un sistema de información geográfica (SIG) para el desarrollo de una herramienta automatizada disponible para el sector palmicultor, facilitando el acceso a datos y la toma de decisiones en la gestión del agua.

Metodología



Ecuación de balance hídrico



$$\Delta S = P + R + A_c - ES - P_p - ET_c$$

$\Delta\theta$ → Cambio de humedad del suelo
 P → Precipitación
 R → Riego
 P_p → Percolación
 ES → Escorrentía
 I → Infiltración
 T → Transpiración
 EV → Evaporación
 ET_c → Evapotranspiración
 A_c → Aportes capilares

Capacidad de almacenamiento de agua

El agua disponible en el suelo, también conocida como agua aprovechable (AA), es estimada mediante las siguientes ecuaciones:

$$AA (\%) = (\%W_{cc} - W_{PMP})$$

$$LAA = \frac{AA (\%)}{100} \cdot Per$$

$$LARA = \frac{AA (\%)}{100} \cdot \rho \cdot fa \cdot Pe$$

Donde:
 LAA % = lámina de agua aprovechable (mm)
 LARA % = lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)
 W_{cc} (%) = humedad gravimétrica a capacidad de campo (%)
 W_{PMP} (%) = humedad gravimétrica a punto de marchitez permanente (%)
 ρ = Peso específico del suelo (adimensional)
 P = Da/Dw
 Da = densidad aparente (g/cm³)
 Dw = Densidad del agua (g/cm³)
 fa = factor de agotamiento que normalmente es 0.5
 Per = profundidad efectiva de raíces (mm)

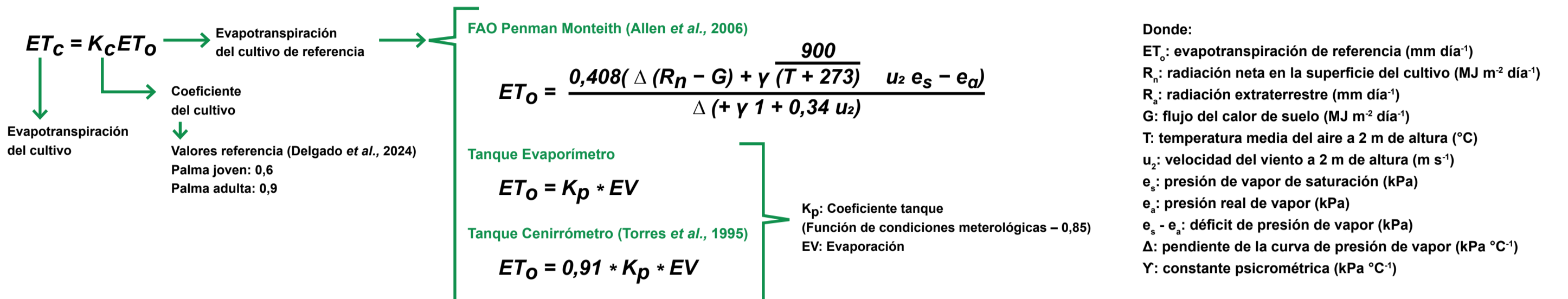
En el caso que la plantación no tenga esta información, la herramienta cuenta con una tabla de referencia en donde se relacionan la textura con los datos de retención de humedad del suelo.

Precipitación

La precipitación es un parámetro de entrada del balance hídrico que debe ser ingresado a escala diaria. Puede incorporarse la variabilidad espacial utilizando ponderaciones como los polígonos de Thiessen o isoyetas de redes pluviométricas o datos de estaciones meteorológicas cercanas.

Evapotranspiración

El modelo integra diferentes métodos de estimación en función de la información disponible y se actualiza con valores específicos para palma de acuerdo con los resultados de investigación de Cenipalma.



Escorrentía

La escorrentía se estima mediante el método de la Curva Número (CN) del Servicio de Conservación de Suelos de los EE. UU. (SCS) (USDA, 1993):

$$S_{max} = \frac{1.000}{CN} - 10$$

$$ES = \frac{(P - 0.2S_{max})}{(P + 0.8S_{max})}$$

Donde: S_{max} es la retención potencial máxima de agua del suelo relacionada con el CN. ES: Escorrentía. P: Precipitación. (I) para suelos secos, (II) para suelos intermedios, y (III) para suelos húmedos.

Lámina de riego

Para la determinación de las láminas de riego en el modelo, se contemplan dos opciones: la primera consiste en que los usuarios ingresen directamente la lámina de riego aplicada; la segunda, en que introduzcan el tiempo de riego realizado. En este último caso, dependiendo del método de riego utilizado, el modelo calculará la lámina de riego mediante las siguientes ecuaciones:

$$LR (mm) = \left[\frac{Q_{aspersor} \left(\frac{L}{h} \right)}{S_M(m) \cdot S_L(m)} \cdot \frac{E_f(\%)}{100} \right] \cdot TR(h)$$

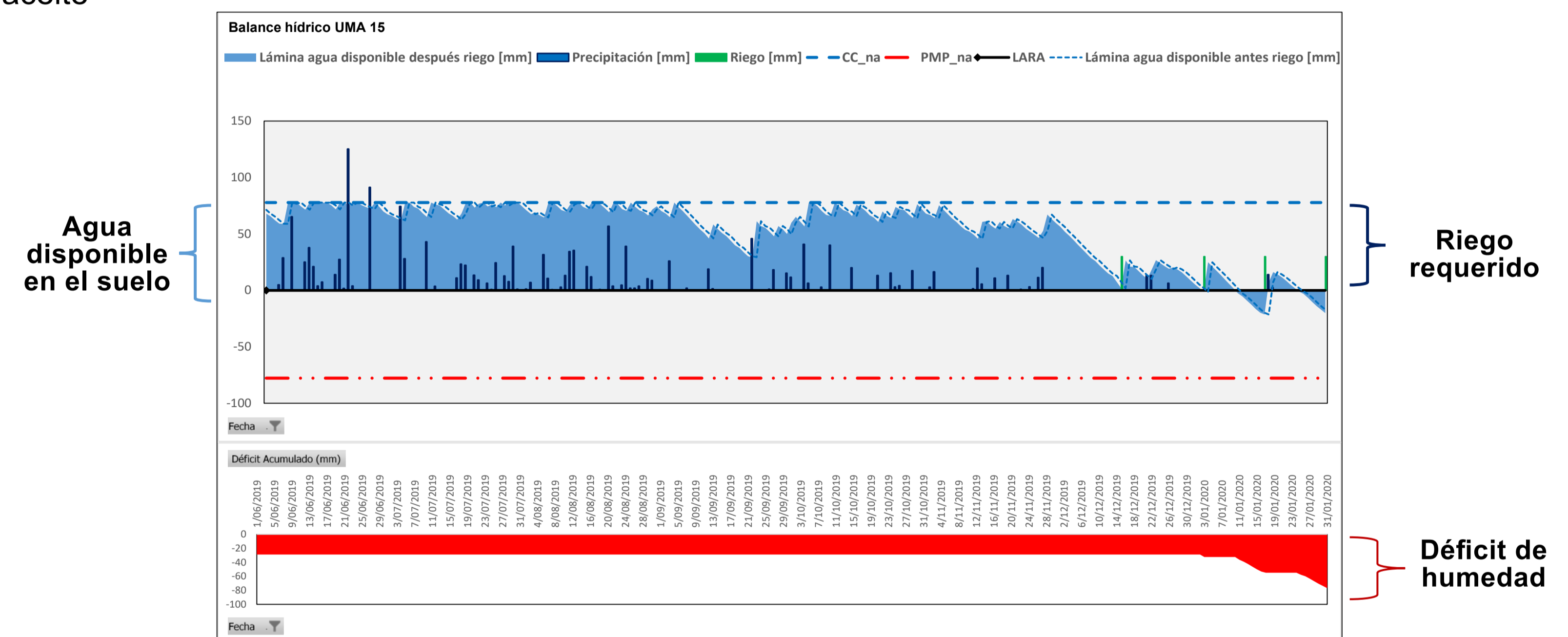
$$LR (mm) = \left[\frac{(Q_{gotero} \left(\frac{L}{h} \right) \cdot \# \text{ goteros por planta}) \cdot \left(\frac{E_f(\%)}{100} \right)}{S_M(m) \cdot S_L(m)} \right] \cdot TR(h)$$

$$LR (mm) = \left[\frac{3.6 \cdot Q_{compuesta} \cdot \text{entrada surco} \left(\frac{L}{s} \right) \cdot \left(\frac{E_f(\%)}{100} \right) \cdot TR(h)}{\# \text{ palmas por surco} \cdot \text{Área aferente} (m^2)} \right] \cdot 1.000$$

Donde: LR: Lámina de riego aplicada (mm). S_M: Distancia entre aspersores (m). S_L: Distancia entre laterales (m). TR: Tiempo de riego (horas). Área aferente es la que abarca una palma de aceite *Elaeis guineensis* o híbrido OxG. Q: Caudal de los emisores (aspersor o goteros) (L/h).

Resultados

Salida gráfica y dinámica de los parámetros de operación de los sistemas de riego en el cultivo de palma de aceite



Conclusiones

Este modelo está en la capacidad de proporcionar datos precisos sobre la disponibilidad de agua en el suelo, lo que facilita la toma de decisiones informadas para el manejo del riego en el cultivo. Esto reduce el riesgo de someter las plantas a condiciones de exceso o déficit de humedad, mejorando su productividad y permitiendo preservar los ecosistemas asociados al cultivo de palma de aceite.

Esta herramienta de balance hídrico es la base para el desarrollo de un programa automatizado que facilite y simplifique el cálculo del agua disponible en el suelo y permite una programación de riego más acertada y eficiente en los cultivos de palma de aceite.

Referencias bibliográficas

Allen, R. G., Pereira, L. S., Dirk, R., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - FAO.

Delgado, T., Ladino, G., & Arias, N. (2024). Evaluation of the Effect of Soil Water Conditions on the Development and Water Requirements of Adult Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in the Northern Region of Colombia. *Agronomy*, 14(9), 1976. <https://doi.org/10.3390/agronomy14091976>.

Torres, J., & Cruz, R. (1995). El Cenirómetro. Serie Divulgativa N° 3, Segunda ed, 4.

United States Department of Agriculture. (1993). Irrigation Water Requirements. In National Engineering Handbook. Part 623. USDA. <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/waterMgt/irrigation/NEH15/ch2.pdf>

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma, por la financiación de este proyecto de investigación.