

PRODUCTIVIDAD DEL MAÍZ FORRAJERO BAJO UN SISTEMA DE MANEJO EN CAMPO

Mariana de Jesús Marcial-Pablo^{1*}; Sergio Iván Jiménez-Jiménez¹; José Alberto Urrieta Velázquez¹

¹Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Suelo, Planta, Atmósfera (CENID RASPA), INIFAP. Km. 6.5 Margen Derecha del Canal Sacramento, Gómez Palacio, C.P. 35079, Durango, México.

marcial.marianadejesus@inifap.gob.mx - 7772664423

Resumen

Uno de los grandes retos del sector agrícola es producir una mayor cantidad de alimentos con la menos cantidad de agua aumentando la productividad del agua de cultivo. La productividad del agua es clave para evaluar la eficiencia con la que se utiliza el agua para la producción de alimentos, dicho con otras palabras, la productividad del agua es una medida sólida para determinar la capacidad de los sistemas agrícolas de convertir el agua en alimento, ésta nos indica la cantidad o el valor del producto sobre el volumen o valor del agua consumida. El estudio tiene como finalidad estimar la productividad del agua del maíz forrajero con información in situ; la evapotranspiración se obtuvo de manera indirecta con el modelo AquaCrop calibrado partir de los datos medidos del cultivo y de la humedad en la parcela. Como resultado se obtuvo una productividad de agua de 3.05 kg/m³ y una productividad simulada de 2.67 kg/m³, con un porcentaje de error de 12.3% entre el dato calculado y el simulado. La productividad del agua del cultivo permitirá conocer si las parcelas son o no eficiente en la producción agrícola.

Palabras claves: Evapotranspiración, rendimiento, volumen de agua .

Introducción

La productividad del agua se puede definir en diferentes términos: productividad del agua biofísica, nutricional, económica y social. Esta distinción proporciona información importante y, por lo tanto, puede respaldar las decisiones de gestión del agua sobre el terreno, así como orientar las políticas.

En términos generales, la productividad del agua por cultivo (PAC), denominada productividad hídrica de los cultivos, se refiere a la producción agrícola por unidad de volumen de agua. Muchos análisis de productividad realizados en diferentes sistemas agrícolas demostraron que hay una serie de factores, además del agua, que tienen una fuerte influencia en la determinación de la PAC. Los valores de la PAC dependen del rendimiento del cultivo, que varía con factores como la variedad, las enfermedades, la fertilidad del suelo, la sequía y las prácticas generales de manejo, y la evapotranspiración que depende de factores como la climatología, la humedad del suelo, el ciclo del cultivo, el tratamiento del suelo, los patrones de lluvia, la programación del riego, los sistemas de riego y drenaje, y la profundidad del nivel freático.

La escala de implementación de las medidas de la PAC puede ser a nivel de planta, campo, sistema y cuenca (Bastiaanssen & Steduto, 2016). Para mejorar la productividad del agua a nivel de campo, se requieren mejores prácticas en la gestión de cultivos, suelos y agua, teniendo en cuenta su interconexión. Según la FAO (2012) los principios claves para mejorar la productividad del agua son: Aumentar el rendimiento comercial del cultivo por unidad de agua transpirada; reducir los efluentes y las pérdidas de agua, y aumentar el uso eficaz de la lluvia, el agua almacenada y la reutilización del agua.

En general la productividad del agua es el resultado de la forma en que los agricultores gestionan sus sistemas de riego y de sus prácticas agronómicas diarias. Las prácticas agrícolas se analizan de manera general a través de las condiciones actuales de los agricultores; las condiciones alcanzables de los agricultores; y la reducción de la brecha entre las condiciones actuales y las deseadas. Además, se debe de realizar un análisis de los niveles de PAC considerando diferentes sistemas agrícolas y las observaciones completas de una temporada del cultivo para comprender los problemas que conllevan a una baja productividad. Dado que los agricultores tienen diferentes prácticas, la productividad puede variar considerablemente en los distintos sistemas; los distintos resultados de los agricultores en un sistema pueden ser el primer signo de diferentes prácticas de gestión del agua.

Zwart & Bastiaanssen (2004) crearon una base de datos mundial de productividad de agua de los cultivos (Crop Water Productivity, CWP), basada en una revisión de la literatura, que fue ampliada por Bastiaanssen et al. (2012) para establecer la base de datos "FAO-CWP". Existe varios estudios de la estimación de la productividad de agua de los cultivos (Gheysari et al., 2021; Ghorbanpour et al., 2022; Li et al., 2012; Salemi et al., 2011) indicando que las diferencias en las metodologías, la cobertura espacial, la duración de las temporadas de cosecha y, especialmente, los años de análisis explican las diferencias en las estadísticas globales de la PAC.

El objetivo de este documento es definir la productividad de agua del maíz forrajero a escala de campo que sea fácil de entender y que pueda implementarse en aplicaciones prácticas para una amplia gama de acciones en campo.

Materiales y Métodos

Ubicación de la zona de estudio y manejo del cultivo

El estudio se realizó en el Rancho ubicado en el ejido la Fe, en el Municipio de Francisco I. Madero, Coahuila en las coordenadas $25^{\circ}51' 44.9''$ N y $-103^{\circ}12' 39.9''$ W, donde se caracteriza por un clima muy seco semicálido. El maíz de la variedad armadillo para forraje se sembró el 16 de marzo en un área de 22.8 hectáreas. El sitio cuenta con un suelo de textura franco-arcillosa con un Ph alcalino de 8.46. Previo a la siembra se aplicó un riego de presembrado con una lámina de 23 cm; durante el desarrollo del cultivo de 110 días, se aplicaron 4 riegos a los 24, 38, 55 y 76 días después de la siembra (DDS) con una lámina bruta de aproximadamente 17 cm por riego.

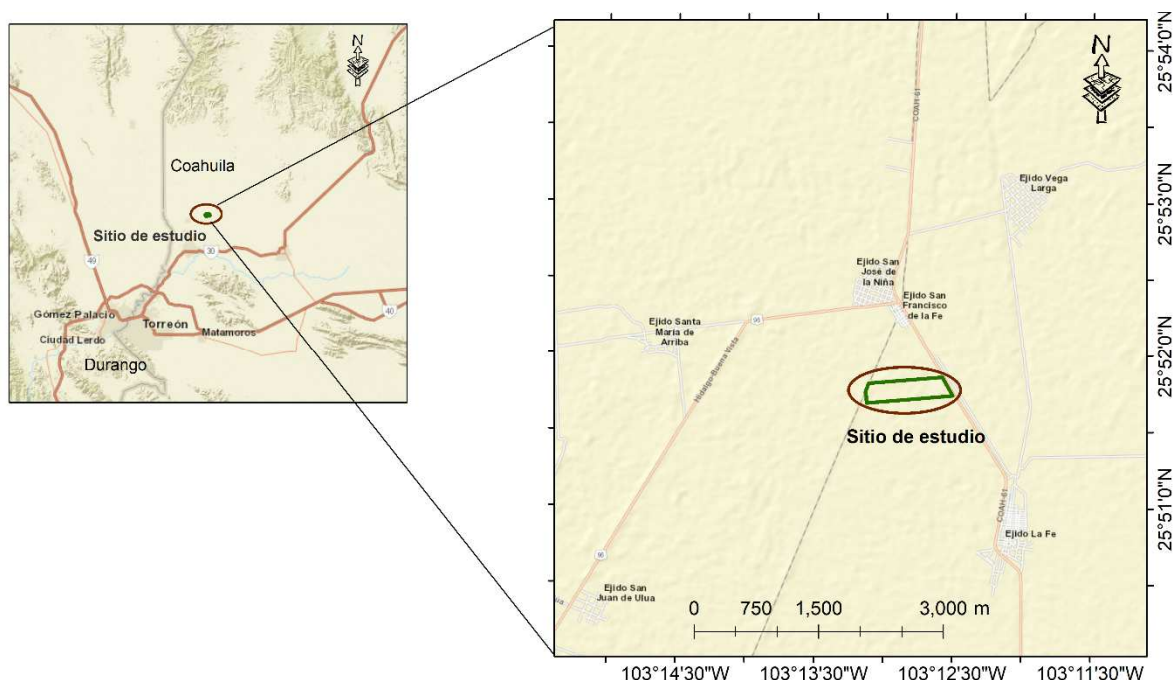


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Recopilación de datos meteorológicos y de evapotranspiración

Los datos climáticos y la evapotranspiración de referencia (ET₀) se obtuvieron de una estación meteorológica DAVIS que se instaló en el sitio de estudio.

La evapotranspiración del cultivo se estimó a partir del modelo AquaCrop, propuesto por la FAO en 2009, con descripciones detalladas presentadas en Steduto et al. (2009) y Raes et al. (2009). Se llevó a cabo el balance hídrico diario en el AquaCrop usando los datos del

cultivo y manejo de la parcela. AquaCrop separa la evapotranspiración en componentes de evaporación y transpiración.

$$ETc_{adj} = Ec_{adj} + Trc_{adj} \quad (1)$$

$$Ec_{adj} = Kr \times Ke \times ET_o \quad (2)$$

$$Tr_{adj} = Ks \times Kc_{Tr} \times ET_o \quad (3)$$

Donde Kr es el coeficiente de reducción de la evaporación, que fluctúa entre 0 y 1; Ke es el coeficiente de evaporación del suelo, que es proporcional a la fracción de la superficie del suelo no cubierta por el dosel, con un valor 0 cuando un campo está completamente cubierto por el dosel y 1 cuando no hay cobertura del dosel en absoluto; Ks es el coeficiente de estrés hídrico del suelo, que es igual a 1 cuando el suelo está en capacidad de campo y 0 en el punto de marchitez permanente; y Kc_{Tr} es el coeficiente de transpiración del cultivo.

Estimación de la productividad de agua del cultivo

La productividad de agua de los cultivos (PAC) evolucionó a partir de la eficiencia de uso de agua (EUA) y productividad del agua (PA), y se define como el rendimiento de los cultivos por unidad de agua consumida (Zwart & Bastiaanssen, 2004). Es el indicador final del uso eficiente del agua en la agricultura (Molden, 2007; Tolck & Howell, 2012):

$$PAC (kg/m^3) = \frac{R (kg/ha)}{10 \times \sum ET (mm)} \quad (4)$$

Donde R es el rendimiento real del cultivo y $\sum ET$ representa la evapotranspiración real acumulada del cultivo durante todo el periodo de crecimiento. En las últimas décadas, la PAC se ha utilizado cada vez más como indicador para evaluar el rendimiento agrícola.

La mejora de la productividad del agua debe ir de la mano con la mejora de la productividad de la tierra (rendimiento), ya que este es un objetivo clave para los agricultores. La mejora de la productividad del agua se puede lograr influyendo en los dos factores de la ecuación, mediante el aumento del rendimiento y/o la reducción de la ET mediante la reducción.

En la Figura 2, se muestra la forma de la función general de la productividad de los cultivos donde se representa gráficamente el rendimiento relativo (relación entre el rendimiento real, Y_a , y el máximo posible en condiciones agronómicas dadas, Y_m) versus la evapotranspiración relativa (relación entre la evapotranspiración real, ET_a , y la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar sin estrés, ET_c).

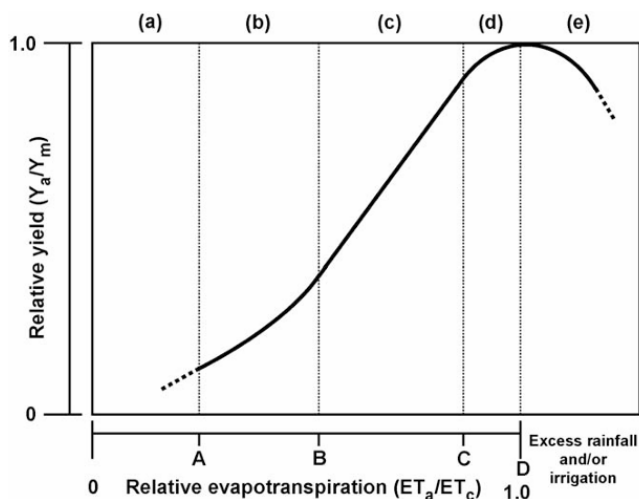


Figura 2. Forma general de la función de la productividad de agua de los cultivos (Hanks, 1974)

Resultados y Discusión

Datos de evapotranspiración

La ETo acumulada en el periodo analizado fue de 680.1 mm. Para obtener la ETc de cultivo se ingresaron los datos climáticos y la información detallada de los datos del suelo y cultivo al AquaCrop, donde se obtuvo un ETc acumulado de 427 mm que corresponde a 61.3 mm de evaporación y 365.7 mm de transpiración (Figura 3).

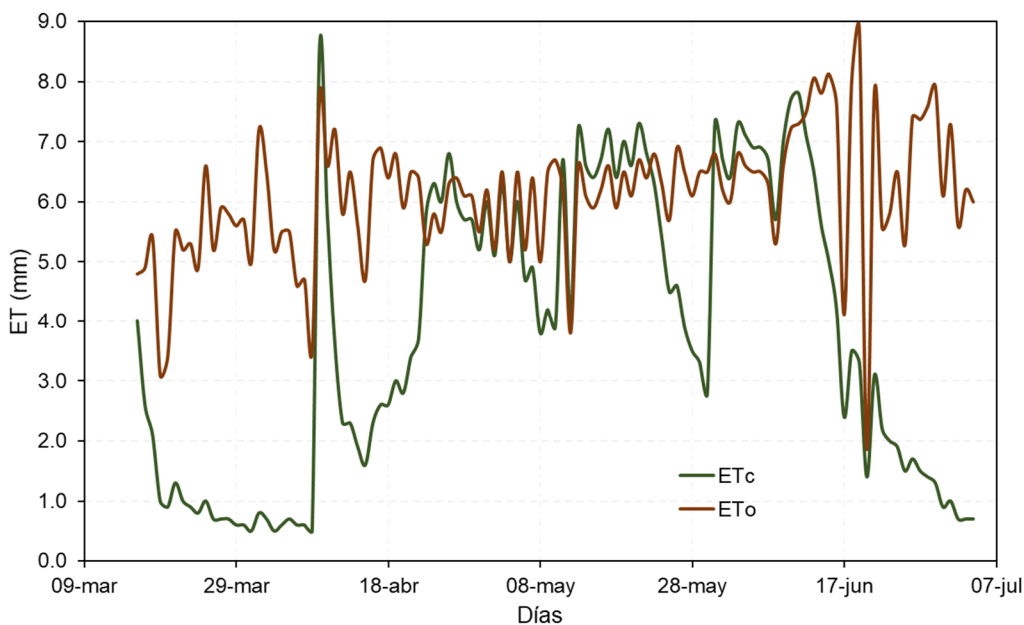


Figura 3. Comportamiento de la ETc y ETo durante el período de crecimiento del cultivo.

Estimación de la productividad del agua

El rendimiento medido y la evapotranspiración se utilizaron para calcular la productividad de agua del cultivo; la PAC fue de 3.05 kg/m³ mientras la PAC simulada fue de 2.67 kg/m³ con una diferencia de 0.38 kg/m³ y un porcentaje de error promedio de 12.3%.

En la Distrito de Riego (DR) 017, durante los años agrícolas 2016-2018 para el maíz forrajero se obtuvo una productividad del agua promedio de 3.46 kg/m³; comparado los datos, la productividad obtenida es menor a la del DR, debido a que en nuestro caso se consideraron datos reales de cultivo en un sitio específico. Otro estudio de productividad del agua en maíz forrajero como el de Nilahyane et al. (2019) reportaron valores de 4.9, 5.1 y 4.4 kg/m³ bajo diferentes niveles de humedad. Como una recomendación para mejorar la productividad del agua en el sitio se puede aplicar de manera eficiente el suministro de agua durante el periodo vegetativo o reproductivo más necesarios.

Conclusiones

En general la variabilidad de la productividad de agua del cultivo se debe principalmente al clima, manejo del agua de riego, manejo del suelo y manejo del cultivo propio. Una de las prácticas importantes para incrementar la PAC es la reducción de riego. Para realizar un cálculo correcto de la productividad del agua es necesario considerar los valores reales medidos en campo de cultivo y sitio. Los datos de productividad del agua en todas las escalas son útiles para evaluar si el agua se utiliza de manera efectiva.

Referencias Bibliográficas

- Bastiaanssen, W. G., & Steduto, P. (2017). The water productivity score (WPS) at global and regional level: Methodology and first results from remote sensing measurements of wheat, rice and maize. *Science of the Total Environment*, 575, 595-611.
- Bastiaanssen, W.G., Miltenburg, I.J. & Goudriaan, R. (2012). Water Productivity Mapping: Moderate Resolution Water Productivity Modelling and Mapping of Wheat and Maize for Morocco and Syria Using ETLook, Report to Land and Water Division FAO, Rome, Italy: 174 pp.
- Ghorbanpour, A. K., Kisekka, I., Afshar, A., Hessels, T., Taraghi, M., Hessari, B., ... & Duan, Z. (2022). Crop water productivity mapping and benchmarking using remote sensing and Google Earth Engine cloud computing. *Remote Sensing*, 14(19), 4934.
- Gheysari, M., Pirnajmedin, F., Movahedrad, H., Majidi, M. M., & Zareian, M. J. (2021). Crop yield and irrigation water productivity of silage maize under two water stress strategies in semi-arid environment: Two different pot and field experiments. *Agricultural Water Management*, 255, 106999.
- Li, Y., Liu, H., & Huang, G. (2012). Effects of different tillage methods on soil water content and water productivity of silage summer maize. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 28(14), 91-98.
- Nilahyane, A., Islam, M. A., Mesbah, A. O., Herbert, S. K., & Garcia y Garcia, A. (2020). Growth, water productivity, nutritive value, and physiology responses of silage corn to water stress. *Agronomy Journal*, 112(3), 1625-1635.

- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, 101(3), 438-447.
- Salemi, H., Soom, M. A. M., Mousavi, S. F., Ganji, A., Lee, T. S., Yusoff, M. K., & Verdinejad, V. R. (2011). Irrigated Silage Maize Yield and Water Productivity Response to Deficit Irrigation in an Arid Region. *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(5).
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.
- Tolk, J. A., & Howell, T. A. (2012). Sunflower water productivity in four Great Plains soils. *Field Crops Research*, 127, 120-128.
- Zwart, S. J., & Bastiaanssen, W. G. (2004). Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural water management*, 69(2), 115-133.