

HUELLA HIDRICA DEL MAIZ FORRAJERO DENTRO DEL DISTRITO DE RIEGO REGION LAGUNERA

Mariana de Jesús Marcial-Pablo^{1*}; Sergio Iván Jiménez-Jiménez¹; Marco Antonio Inzunza-Ibarra¹; Ignacio Sánchez-Cohen

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

Se han propuesto diferentes tecnologías y estrategias de riego como medios para mejorar la gestión general del riego y, por lo tanto, el uso racional de los recursos hídricos disponibles. La huella hídrica (HH) agrícola promedio, por tonelada producida, difiere significativamente entre cultivos y regiones de producción. Los cultivos con un alto rendimiento o biomasa cosechada, generalmente tienen una huella hídrica más pequeña por tonelada que los cultivos con un rendimiento bajo. Los valores de HH agrícola pueden considerarse como un indicador de eficiencia es decir que valores más bajos significan un menor consumo de agua por tonelada producida, mientras que valores altos significan un mayor consumo de agua. Sin embargo, determinar la huella hídrica de los cultivos con cierta precisión es el primer paso hacia la propuesta de soluciones. En este estudio se determinó la HH agrícola en el cultivo de maíz forrajero usando dos enfoques de cálculo: requerimiento de agua del cultivo (RAC) y balance de agua en el suelo (BAS) en el CROPWAT. El primer caso, es el más empleado en estudios de HH en México, el cultivo se manejó en condiciones óptimas, mientras que, para el segundo caso, se ingresaron los parámetros de tal manera que se simularán las condiciones reales del cultivo. De acuerdo a los resultados se obtuvo una HH de consumo de 465.50 m³/ton (HH verde de 14.78 m³/ton y HH azul de 450.71 m³/ton) mediante el RAC y de 403.63 m³/ton (HH verde de 14.78 m³/ton y HH azul de 388.85 m³/ton) para el BAS, lo cual indica que el enfoque RAC sobreestimó la HH observada en un 15%, por lo tanto, es necesario conocer las ventajas de los enfoques de cálculo de la HH para obtener resultados más certeros.

Palabras claves: Evapotranspiración, rendimiento, consumo de agua.

Introducción

A escala global se ha encontrado que las actividades agrícolas y pecuarias son las que mayor consumo y contaminación de agua tienen asociado, aproximadamente el 85% del consumo mundial de agua dulce (Mekonnen & Hoekstra, 2010a). Por esta razón, es necesario la creación y uso de nuevas herramientas que permitan realizar mejor la planificación y el manejo de los recursos hídricos, que ayuden a mantener un balance entre su uso, por parte de los humanos, y la protección de los ecosistemas proveedores de los mismos (Zeng et al., 2012).

El concepto de “huella hídrica” introducido por Hoekstra (2003) y posteriormente elaborado por Hoekstra & Chapagain (2008) proporciona un marco para analizar el vínculo entre el consumo humano y la apropiación del agua dulce del planeta. La huella hídrica (HH) es un concepto teórico, que estima la cantidad de agua necesaria para producir cada uno de los bienes y servicios que utilizamos en nuestras actividades socioeconómicas cotidianas (Hoekstra et al., 2011; Hoekstra, 2017). La HH es una medida de la apropiación de los recursos de agua dulce por parte de los seres humanos, considerando tanto el uso directo como el indirecto del agua (Hoekstra et al., 2011). En agricultura, la huella hídrica de un cultivo determinado se define como la relación entre la suma de la evapotranspiración real acumulada, a lo largo del período de cultivo, más la cantidad de agua dulce contaminada por fertilizantes y sustancias químicas de pesticidas durante el proceso de cultivo, dividida por el rendimiento final del cultivo. La HH se divide en tres componentes: azul, verde y gris; La HH azul se refiere al volumen de agua superficial y subterránea consumida (evaporada) como resultado de la producción de un bien; la HH verde se refiere al agua de lluvia consumida. La HH gris de un producto se refiere al volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes según los estándares de calidad del agua ambiental existentes.

El Manual de evaluación de la huella hídrica (Hoekstra et al. 2011) propone el modelo CROPWAT de la FAO como adecuado para calcular la huella hídrica verde, azul y total de un cultivo. De acuerdo con su metodología, el modelo debe ejecutarse inicialmente en condiciones de secano y se supone que la evapotranspiración real simulada del cultivo es la fracción de evapotranspiración verde. Posteriormente, el modelo debe volver a ejecutarse utilizando un programa de riego. La diferencia entre la evapotranspiración real del cultivo obtenida de las simulaciones con y sin riego se considera como la fracción de evapotranspiración azul.

Se han realizado muchos estudios para determinar la huella hídrica de varios cultivos en diferentes países, utilizando modelos y conjuntos de datos que van desde el nivel nacional hasta el regional, proporcionando estimaciones del estado actual (Chapagain et al., 2006; Zeng et al. 2012; Mekonnen & Hoekstra, 2010b;). En México existen diversos trabajos de cuantificación de HH para zonas agrícolas y años agrícolas específicos, donde se consideran datos estadísticos generales del cultivo (Flores-López & Bautista-Capetillo, 2015; Novoa et al., 2024). Con lo anterior, el objetivo de este trabajo es determinar la huella hídrica del maíz forrajero para un sitio específico mediante el enfoque de requerimiento de agua del cultivo (RAC) y balance de agua en el suelo (BAS) utilizando el modelo agronómico CROPWAT de la FAO.

De acuerdo a lo anterior, la HH_{consumo} depende de dos variables básicas, que son la ET y rendimiento. El rendimiento promedio de los muestreos en el sitio fue de 11.3 ton/ha de materia seca.

Para simular la ET del cultivo con el enfoque RAC, se ingresaron los parámetros de clima, cultivo y suelo de acuerdo a las condiciones de la parcela y se simuló el riego en condiciones sin estrés. En el otro caso, se ingresó el calendario de riego y la humedad al momento de la siembra.

Resultados y Discusión

Datos de evapotranspiración

En lo que respecta a la ET_c obtenido con el CROPWAT en la figura 1 se observa el comportamiento de los datos a partir del enfoque requerimiento de agua del cultivo (RAC) y balance de agua en el suelo (BAS). Para la opción de RAC, la evapotranspiración se estima en condiciones óptimas, lo que indica que la ET_c es igual al requerimiento de agua del cultivo; calculando la ET_c solo con datos climáticos y del cultivo. Para la opción de BAS, la ET_c se estima en condiciones reales de cultivo (condiciones del sitio y manejo en campo), por lo que requiere información del clima, cultivo, suelo y manejo de riego. Durante el desarrollo del cultivo se obtuvo una ET_c acumulada de 526 mm y 456 mm para el RAC y BAS, respectivamente.

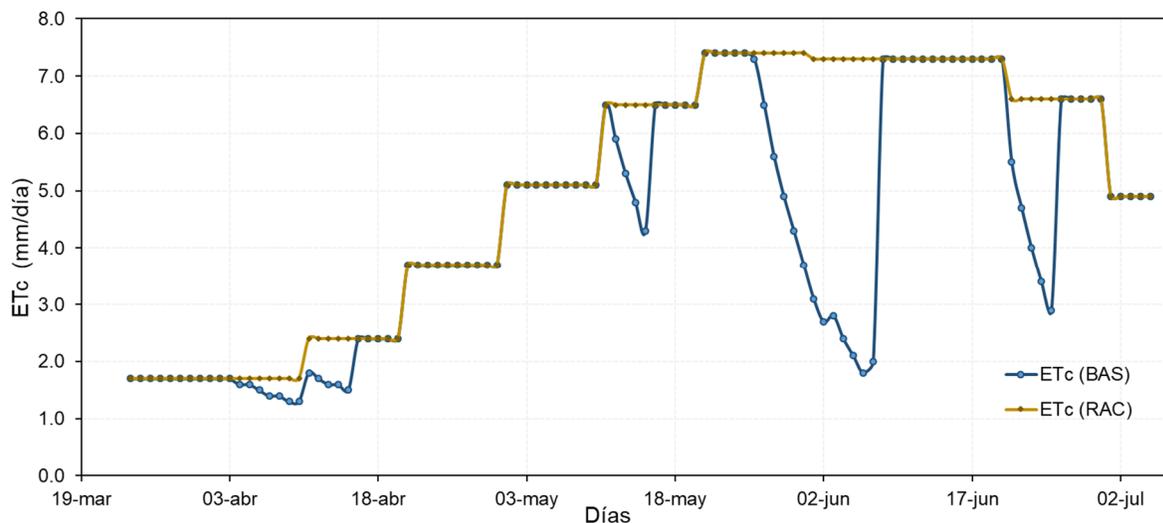


Figura 1. Comportamiento de la ET_c considerando el enfoque de requerimiento de agua del cultivo (RAC) y balance de agua en el suelo (BAS) en el sitio de estudio.

Huella hídrica

La huella hídrica de consumo del maíz forrajero fue de 465.5 m^3/ton considerando el enfoque de RAC y de 403.6 m^3/ton para el BAS, lo que nos indica que con las condiciones óptimas de cultivo se sobrestima la HH de consumo un 15.3% respecto a las condiciones reales de cultivo (cuadro 1). Debido casi nula precipitación presentada en el sitio, la HH verde representa solo el 4% de la HH de consumo, por lo que la HH de consumo esta compuesta en su mayoría por la HH azul, lo que suele suceder en la zona áridas que son regiones con poca agua.

Cuadro 1. Valores promedios de agua utilizada por el cultivo (CWU) y huella hídrica de maíz forrajero para los dos enfoques (RAC y BAS) de análisis.

Opción	ET (mm/periodo)		CWU (m ³ /ha)		R (ton/ha)	HH promedio (m ³ /ton)		
	Verde	Azul	Verde	Azul		Verde	Azul	Consumo
Requerimiento de agua del cultivo (RAC)	16.70	509.30	167.00	5,093.00	11.30	14.78	450.71	465.49
Balance de agua en el suelo (BAS)	16.70	439.40	167.00	4,394.00	11.30	14.78	388.85	403.63

Los valores de HH encontrados en este trabajo están por debajo de los valores promedios globales encontrados por Mekonnen & Hoekstra (2011) que reportan una HH_{consumo} de 612 m³/ton (con una HH_{azul} de 455 m³/ton y una HH_{verde} de 157 m³/ton). Tolga Esetlili et al. (2022) reportaron una HH_{consumo} de 774 m³/ton (con una HH_{azul} 483 m³/ton). Lo que indica que la HH de consumo de maíz forrajero es menor al promedio global debido a que se trata de un sitio específico, pero la HH_{azul} en condiciones óptimas fluctúa en un rango similar a otras investigaciones.

Conclusiones

Huella Hídrica es sin duda una herramienta clave para investigar la sostenibilidad de la producción de los cultivos en función del uso del agua, pero es necesario el uso correcto de las metodologías para evitar la subestimación o sobrestimación de los valores de HH de un sitio específico. Para este caso la HH bajo condiciones óptimas (465.5 m³/ton) sobrestimó su valor un 15.3% respecto a la HH obtenida con las condiciones reales del cultivo (403.6 m³/ton); básicamente la HH de consumo optimó resultado ser mayor que el real debido a que en ambos casos se considera el rendimiento obtenido en campo bajo las condiciones reales de manejo.

De acuerdo a los enfoques de cálculo, el BAS es de los más precisos, sin embargo, es necesario tener datos reales y el enfoque se aplica comúnmente en superficies pequeñas; en el caso del enfoque RAC se puede aplicar a grandes áreas, aunque su desventaja es la precisión. Al seleccionar el tipo de enfoque para el cálculo de la HH es necesario conocer el objetivo de estudio.

Referencias Bibliográficas

- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., Savenije, H. H., & Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries. *Ecological economics*, 60(1), 186-203.
- Chapagain, A. K., & Hoekstra, A. Y. (2008). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. *Oxford, UK: Blackwell Publishing. Interface Focus*, 13(20230012), 9.

- Flores Lopez, L. I., & Bautista-Capetillo, C. (2015). Green and blue water footprint accounting for dry beans (*Phaseolus vulgaris*) in primary region of Mexico. *Sustainability*, 7(3), 3001-3016.
- Hoekstra, A. Y. (2003). Virtual water trade: proceedings of the international expert meeting on virtual water trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002, Value of Water Research Report Series No. 12.
- Hoekstra, A. Y. (2017). Water footprint assessment: evolution of a new research field. *Water Resources Management*, 31(10), 3061-3081.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., & Mekonnen, M.M. (2011) The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Earthscan, Washington D.C.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010a). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010b). A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat. *Hydrology and earth system sciences*, 14(7), 1259-1276.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and earth system sciences*, 15(5), 1577-1600.
- Novoa, V., Rojas, C., Rojas, O., Ahumada-Rudolph, R., & Moreno-Santoyo, R. (2024). A temporal analysis of the consequences of the drought regime on the water footprint of agriculture in the Guadalupe Valley, Mexico. *Scientific reports*, 14(1), 6114.
- Pereira, L. S., Paredes, P., López-Urrea, R., Hunsaker, D. J., Mota, M., & Shad, Z. M. (2021). Standard single and basal crop coefficients for vegetable crops, an update of FAO56 crop water requirements approach. *Agricultural Water Management*, 243, 106196.
- Zeng, Z., Liu, J., Koeneman, P. H., Zarate, E., & Hoekstra, A. Y. (2012). Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(8), 2771-2781.