



Huella hídrica del cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán, Argentina*

L. Patricia Garolera De Nucci*, Mario Javier Tonatto**, Augusto Gómez*, María Emilia Iñigo Martínez* y Enrique Feijoo*

*Sección Ingeniería y Proyectos Agroindustriales y **Subprograma Agronomía de la Caña de Azúcar. EEAOC-Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Av. William Cross 3150 (T4101XAC), Las Talitas, Tucumán, Argentina.
Tel.: 381 452100. Email: pgarolera@eeaac.org.ar

RESUMEN

El estudio cuantificó la huella hídrica del cultivo de caña de azúcar, variedad TUC 03-12, en Tafí Viejo (Tucumán-Argentina), siguiendo las directrices de la Water Footprint Network. Los resultados mostraron una huella hídrica verde de 118,8 m³/t, huella hídrica azul de 0 m³/t (por tratarse de un cultivo de secano) y gris de 678 m³/t, elevada por el uso de herbicidas con triazinas. Esta evaluación servirá como base para futuros análisis en otras etapas de la producción de bioetanol de caña de azúcar.

Palabras clave: caña de azúcar, sustentabilidad, recurso hídrico.

ABSTRACT

Relationship between sugarcane area zoning by production levels and soil fertility in Tucumán province, Argentina, using geotechnologies

The water footprint of the plant crop of sugarcane variety TUC 03-12 in Tafí Viejo (Tucumán-Argentina) was quantified. The study followed the guidelines of the Water Footprint Network. The results showed a green water footprint of 118.8 m³/t, a blue water footprint of 0 m³/t (it is a rainfed crop), and a grey water footprint of 678 m³/t, which was high due to the use of triazine herbicides. This evaluation serves as a basis for future analyses in other stages of sugarcane bioethanol production.

Key words: sugarcane, sustainability, water resource.

* Trabajo presentado en el XXXII ISSCT Centennial Congress, 24 al 28 de agosto de 2025, Cali, Colombia, traducido al castellano.

INTRODUCCIÓN

La escasez de agua dulce es un desafío global creciente, impulsado por las altas demandas de agua en la agricultura, la industria y las poblaciones urbanas y rurales. La formulación de estrategias para promover el uso eficiente del recurso hídrico se vuelve fundamental. La caña de azúcar es un cultivo clave para la producción de azúcar, biocombustibles y otros derivados, por lo que la cuantificación del consumo hídrico durante su crecimiento y procesamiento industrial resulta fundamental para la sostenibilidad del sector. Esta información es esencial tanto para realizar mejoras técnicas en el sector como para diseñar políticas públicas que garanticen un uso eficiente

del agua.

El análisis de la huella hídrica (HH) ha ganado terreno en los últimos años como un indicador para identificar las actividades que contribuyen a la escasez y contaminación de los recursos hídricos a lo largo de la cadena de suministro de un producto. Propuesta por Hoekstra & Hung (2002), y desarrollada por Chapagain y Hoekstra (2004), la HH se compone de tres elementos: la HH verde (agua de lluvia utilizada), la HH azul (agua superficial y subterránea empleada) y la HH gris (agua necesaria para diluir contaminantes hasta niveles aceptables). Si bien la HH por sí sola no es suficiente para evaluar el impacto ambiental completo de un proceso, su estimación puede contribuir a la evaluación de los impactos ambientales y

sociales del uso del agua, promoviendo una distribución más sostenible y equitativa.

Este estudio tiene como objetivo cuantificar la huella hídrica de la caña de azúcar en las condiciones agroecológicas de Tucumán, Argentina, siguiendo las directrices de la Water Footprint Network. Los resultados servirán como referencia para futuras investigaciones de HH en la etapa industrial, con el fin de proporcionar información para promover un uso sostenible y eficiente del recurso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio evaluó la huella hídrica de la producción de caña de azúcar en el departamento de Tafí Viejo, provincia de Tucumán, Argentina. Se utilizaron datos propios de ensayos de campo realizados en el período 2017/2018, incluyendo estudios fenológicos y de producción cultural. La variedad evaluada, TUC 03-12 en edad de caña planta, ha experimentado un aumento significativo en el área cultivada en los últimos años.

El sistema de manejo agronómico planteado corresponde al sistema de producción convencional de caña de azúcar en Tucumán, que incluye la plantación manual, el uso de agroquímicos convencionales, la ausencia de riego suplementario y un rendimiento estimado de 81 t de caña/ha. El cultivo se abasteció únicamente con agua de lluvia. Se definió una unidad funcional de 1 tonelada de caña de azúcar y un alcance temporal de 1 año.

Para determinar las huellas hídricas verde, azul y gris, se siguió el procedimiento propuesto en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica (Hoekstra *et al.*, 2011).

Para el cálculo de la Huella Hídrica verde y azul se empleó el software CROPWAT 8.0, desarrollado por FAO (FAO, 2010), a fin de estimar los requerimientos hídricos del cultivo y las necesidades de riego.

Los datos agroclimáticos fueron obtenidos de la estación meteorológica de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) ubicada en El Colmenar (<https://agromet.eeaoc.gob.ar/>). Estos datos incluyeron temperaturas mínimas y máximas, humedad relativa, velocidad del viento, precipitación y horas de luz solar.

La información relacionada con el cultivo y el tipo de suelo (predominantemente franco limoso) se obtuvo de informes de la FAO (FAO, 2006) y de análisis de laboratorio y mediciones directas en campo proporcionadas por la EEAOC.

En CROPWAT 8.0, se trabajó con la opción “Calendario de riego” y se indicó la opción “sin riego”. La HH verde se calculó utilizando la evapotranspiración diaria y la precipitación efectiva diaria. Debido a las condiciones de secano adoptadas en este estudio, la componente azul del uso de agua fue cero. En consecuencia, la huella hídrica azul ($m^3 \text{ t}^{-1}$) se estimó considerando únicamente el agua incorporada con fertilizantes y herbicidas.

Para el cálculo de la Huella Hídrica gris se utilizó la ecuación:

$$WF_{grey} = \frac{\alpha AR / (C_{max} - C_{nat})}{Y}$$

Donde:

α : factor de lixiviación-escorrentía.

AR: tasa de aplicación de agroquímicos ($kg \text{ ha}^{-1}$).

Cmax: concentración máxima aceptable ($kg \text{ m}^{-3}$).

Cnat: concentración natural del contaminante en el cuerpo de agua receptor ($kg \text{ m}^{-3}$), considerada cero en este caso de estudio para todos los contaminantes.

Y: rendimiento del cultivo.

Los valores de Cmax se tomaron de la legislación vigente (Decreto 831/93 sobre Residuos Peligrosos de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina), mientras que las fracciones de lixiviación-escorrentía corresponden a valores recomendados en la literatura.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la huella hídrica para el sistema de manejo agronómico planteado para la caña de azúcar en la provincia de Tucumán fueron los siguientes:

Huella hídrica verde: $118.8 \text{ m}^3/\text{t}$

Huella hídrica azul: $0 \text{ m}^3/\text{t}$

Huella hídrica gris: $678 \text{ m}^3/\text{t}$

Los bajos valores de HH azul se deben a la consideración de la agricultura de secano; además, solo está asociada al agua de dilución y aplicación de agroquímicos (cerca de cero).

Cabe destacar que el uso de riego suplementario en el cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán no es una práctica frecuente, ya que las condiciones ambientales naturales permiten el desarrollo de este cultivo favorablemente. Este se utiliza principalmente en zonas marginales donde el crecimiento del cultivo es restringido. Por lo tanto, el riego es eventual y no está integrado en el ciclo productivo, lo que demuestra una gestión irregular del recurso.

La HH gris presentó valores altos, debido principalmente al uso de herbicidas a base de triazinas. Si bien la mayoría de los estudios indican que la aplicación de fertilizantes nitrogenados es la principal contribución de la HH gris, en este caso el uso de N fue ampliamente superado por la atrazina. La atrazina, un herbicida de postemergencia, resultó ser el contaminante crítico, por encima de los demás agroquímicos.

Los valores de HH gris dependen en gran medida de las concentraciones máximas admisibles y las fracciones de lixiviación-escorrentía de los agroquímicos utilizados en el cultivo de caña de azúcar.

CONCLUSIONES

El estudio de la huella hídrica del cultivo de caña de azúcar en la provincia de Tucumán, Argentina, reveló una huella hídrica verde de $118.8 \text{ m}^3/\text{t}$, una huella hídrica azul de $0 \text{ m}^3/\text{t}$ y una huella hídrica gris de $678 \text{ m}^3/\text{t}$. La baja huella hídrica azul se atribuye a las condiciones de cultivo de secano y se limita al agua de dilución y aplicación de agroquímicos. Por otro lado, la elevada huella hídrica gris se debe principalmente al uso de herbicidas a base de triazinas, siendo la atrazina el contaminante crítico, por encima de los fertilizantes nitrogenados en este aspecto.

Estos resultados proporcionan un escenario de referencia importante para la comprensión del consumo de agua en la etapa agrícola de la producción de caña de azúcar en la región. La información obtenida es fundamental para avanzar en la cuantificación de la huella hídrica en las etapas industriales de la cadena productiva del bioetanol de caña de azúcar, así como para informar el desarrollo de políticas públicas que promuevan un uso más eficiente y sostenible de los recursos hídricos en la provincia de Tucumán.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Chapagain, A. K. & A. Y. Hoekstra. 2004. Water footprints of nations: Water use by people as a function of

their consumption patterns. UNESCO-IHE Institute for Water Education.

FAO. 2006. Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.

FAO. 2010. CROPWAT 8.0 for Windows: User guide.

Hoekstra, A. Y. & P. Q. Hung. 2002. Water footprint of nations. UNESCO-IHE Institute for Water Education.

Hoekstra, A. Y.; A. K. Chapagain; M. M. Aldaya & M. M. Mekonnen. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the global standard for water footprint assessment. Earthscan.

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina. 1993. Decreto 831/93 sobre Residuos Peligrosos.

