

INGENIERÍA AMBIENTAL

# Huella hídrica verde y azul de la producción de caña de azúcar orgánica en la zona centro del Valle del Cauca

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

## Green and blue water footprint of organic sugarcane production in the central area of Cauca Valley

Luisa F. Ramírez<sup>1§</sup>, Dorance Becerra<sup>1</sup>, Carlos H. Mora<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Universidad Francisco de Paula Santander, Departamento de Ciencias del Medio Ambiente, Programa de Ingeniería Ambiental, San José de Cúcuta, Colombia*

<sup>2</sup>*Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración, Palmira, Colombia.*

§*luisaframirezr@ufps.edu.co, dorancebm@ufps.edu.co, chmorab@unal.edu.co*

**Recibido:** 11 de mayo de 2021 – **Aceptado:** 20 de octubre de 2021

### Abstract

The estimation of the green and blue water footprint in the production of organic sugarcane (*Saccharum officinarum*) was obtained for a planting area of 621.5 hectares in the Amaime river basin in Valle del Cauca, Colombia. The study represents the first approximation in the quantification of the theoretical amount of water required by growers to produce sugarcane under organic planting conditions, based on the methodological guidelines proposed in the Water Footprint Evaluation Manual of the authors Arjen and Hoekstra et al, (2011), and the computer program CROPWAT 8.0 of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The results for the green water footprint yielded an indicator of 117.07 m<sup>3</sup>/t, and 37.44 m<sup>3</sup>/t for the blue water footprint, for a total water footprint of 154.51 m<sup>3</sup>/t. The obtained data were analyzed comparatively with results from the literature about the traditional cultivation of sugarcane in Colombia, and international references for the same crop, so that the cultivation of organic sugarcane could present competitive advantages in environmental terms, associated with the use of water resources and context conditions. Moreover, it is necessary to deepen the analysis of the gray water footprint and analyses that involve cultural, social, scientific, economic, biophysical, and political aspects that lead to the integrality of the indicator.

**Keywords:** *Water Footprint, Green Water, Blue Water, Gray Water, Water Resource Management, Organic Cane, Environmental Sustainability.*

### Cómo citar:

Ramírez LF, Becerra D, Mora CH. Huella hídrica verde y azul de la producción de caña de azúcar orgánica en la zona centro del Valle del Cauca. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 2022;e20411264. <https://doi.org/10.25100/iyc.v24i2.11264>



Este trabajo está licenciado bajo una Licencia Internacional Creative Commons Reconocimiento–NoComercial–CompartirIgual 4.0

## Resumen

La huella hídrica verde y azul en la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) orgánica, se calculó para un área de siembra de 621.5 hectáreas, en la cuenca hidrográfica del río Amaime, en el Valle del Cauca, en Colombia. El estudio representa la primera aproximación en la cuantificación de la cantidad de agua teórica requerida por cultivadores para producir caña de azúcar en condiciones de siembra orgánicas, a partir de los lineamientos metodológicos propuestos en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica de los autores Arjen y Hoekstra et al., (2011), y el programa computacional CROPWAT 8.0 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (FAO). Los resultados para la huella hídrica verde arrojaron un indicador de 117.07 m<sup>3</sup>/t. y de 37.44 m<sup>3</sup>/t. para la huella hídrica azul, para una huella hídrica total de 154.51 m<sup>3</sup>/t. Los datos obtenidos se analizaron comparativamente con resultados de la literatura del cultivo tradicional de caña de azúcar en Colombia, y referentes internacionales para el mismo cultivo, por lo que el cultivo de caña orgánica podría presentar ventajas competitivas en términos ambientales, asociadas al uso de los recursos hídricos y condiciones de contexto, así como también se hace necesario profundizar en el análisis de la huella hídrica gris, y en análisis que involucren aspectos culturales, sociales, científicos, económicos, biofísicos y políticos que conduzcan a la integralidad del indicador.

**Palabras clave:** Huella Hídrica, Agua Verde, Agua Azul, Gestión del Recurso Hídrico, Caña Orgánica, Sostenibilidad Ambiental.

### 1. Introducción

Los recursos hídricos son imprescindibles para el soporte de todas las formas de vida, estos se encuentran dentro del agua total del planeta que compone el mayor porcentaje de la superficie terrestre, de los cuales está disponible solo una pequeña parte de agua dulce para sostener la vida humana y de los ecosistemas terrestres <sup>(1)</sup>. Por tal motivo, este recurso debe ser preservado y usado de manera racional, ya que su disponibilidad se encuentra limitada por el aumento de la población, el incremento de la contaminación y por los efectos del cambio climático principalmente <sup>(2)</sup>.

A nivel mundial, el sector agrícola es el que demanda la mayor cantidad de agua dulce para el desarrollo de sus actividades <sup>(3)</sup>, lo cual muestra la necesidad inmediata de analizar la demanda hídrica asociada al desarrollo de los cultivos, inclusive los requerimientos de agua de los productos utilizados para favorecer esta actividad económica, y de esta manera formular estrategias que conduzcan hacia el uso óptimo de dicho recurso <sup>(4)</sup>. El cultivo de caña de azúcar es una de las actividades productivas más importantes en los países productores, dado su aporte a la

producción de alimentos para el consumo humano y otros derivados de importancia económica, tales como en la elaboración de azúcar, biocombustibles, alcohol, mieles, entre otros productos <sup>(5)</sup>. De modo que, estos cultivos se han caracterizado por los altos volúmenes de agua que se requieren para su crecimiento, lo cual permite inferir que, en un escenario de oferta hídrica limitada y múltiples usuarios del agua, es un contribuyente relevante en la escasez de este recurso.

En Colombia, el clúster de la caña de azúcar (*Saccharum Officinarum*) es considerado un importante contribuyente de la economía del país <sup>(6)</sup>. Este sector económico se encuentra localizado principalmente en el valle geográfico del río Cauca, a partir del norte del departamento del Cauca, seguido de la franja central del Valle del Cauca, y alcanzando el sur del departamento de Risaralda, lo que abarca un total de 47 municipios, cuyos terrenos son propiedad de los ingenios y de cultivadores de caña, siendo estos últimos los de mayor aporte en áreas sembradas <sup>(7)</sup>. Por ende, el subsector cañero está concentrado principalmente en el departamento del Valle del Cauca, donde se presenta el consumo más alto de agua del total de siembras en el país, utilizando

altas cantidades de agua superficial y de agua subterránea disponibles en la zona, lo cual acrecienta los conflictos por el uso del agua principalmente entre el consumo agrícola y el consumo humano, situación que se agrava durante fluctuaciones climáticas, especialmente de sequía como el fenómeno de El Niño, en donde los caudales de las fuentes de agua que abastecen estos cultivos disminuyen substancialmente <sup>(8,9)</sup>.

La búsqueda de prácticas que minimicen los efectos ambientales en la producción agrícola tradicional, dirige la mirada hacia la agricultura orgánica, la cual se basa en la utilización de insumos de origen natural y que propende por la obtención de los mismos de forma local, a fin de reducir la contaminación del agua, suelo y aire <sup>(10)</sup>. En el mundo ha venido creciendo la implementación de estos cultivos, llegando hasta América latina donde solo se cultiva una mínima parte del territorio <sup>(11)</sup>. Dado lo anterior, surge la necesidad de estimar indicadores que favorezcan análisis sobre usos consuntivos y no consuntivos del agua, a partir de los cuales se formulen e implementen nuevas herramientas que conduzcan a optimizar la planificación y el manejo del agua disponible, orientados a mejorar un balance entre su uso y disponibilidad, para obtener el cultivo de manera sostenible de tal forma que no afecte los ecosistemas y a las comunidades que dependen de este importante recurso.

La huella hídrica– H.H, es conocida como un indicador del uso del agua, que considera la contaminación generada por el cultivo como criterio para el estudio del volumen de agua utilizada en el proceso productivo; y se compone de tres tipos: la H.H Azul la cual indica la cantidad de agua tanto superficial como subterránea utilizada y evaporada para obtener un producto; y la H.H Verde que representa el agua natural o de lluvia consumida; y la H.H Gris representa la cantidad de agua necesaria para diluir la contaminación de modo que cumpla con la normatividad existente de calidad del agua en

un contexto específico <sup>(12)</sup>. Para este fin, se han establecido metodologías que permiten medir y analizar de manera estándar la huella hídrica, para el caso de los cultivos existe el manual titulado “*The water footprint assessment manual. Setting the Global Standard*” <sup>(13)</sup>, el cual es utilizado por la mayoría de autores a nivel global, cuyo objeto de estudio es el cálculo de la huella hídrica.

Se han realizado importantes estudios tanto internacionales como nacionales que tratan acerca de la cuantificación de la huella hídrica para la agricultura y específicamente del cultivo de caña de azúcar. A nivel internacional, Haro *et al.* <sup>(14)</sup> determinaron la HH de un cultivo de caña de azúcar ubicado en Jalisco-México, así como también Schyns & Hoekstra <sup>(15)</sup> en Marruecos para diferentes actividades dentro de las que se incluye la de producción de cultivos. De manera similar, Gheewala *et al.* <sup>(16)</sup> evaluaron la HH verde y azul de diez cultivos donde se incluye el de caña de azúcar, en diferentes regiones de Tailandia. Más tarde, se realiza un trabajo por los investigadores Mesfin M. Mekonnen, Pahlow, Aldaya, Zarate, & Hoekstra <sup>(17)</sup>, en el que analizan la HH para el sector agrícola, industrial y doméstico, con enfoque en los cultivos agrícolas como el trigo, soja, caña de azúcar, forrajeros y café. Por su parte, Pahlow M <sup>(18)</sup> desarrolló la primera evaluación preliminar sobre huella hídrica verde, azul y gris de los cultivos más representativos en Sur África (maíz, forraje, caña de azúcar, trigo y girasol). En Brasil se han publicado varios estudios sobre el tema, tal es el caso de Silva *et al.* <sup>(19)</sup>, con modelaciones de la HH del cultivo de caña de azúcar en el Estado de Paraíba, seguido de Barbosa *et al.* <sup>(20)</sup> en el sureste de Brasil, entre otros. En China se destacan diversas investigaciones que describen la HH agrícola como por ejemplo lo producido por Zhuo, Mekonnen, & Hoekstra <sup>(21)</sup> y temáticas inherentes, como los consumos de agua virtual por Zhang *et al.* <sup>(22)</sup>, entre otros. En Tucumán la provincia más pequeña de Argentina, resalta el trabajo realizado por Jorrat, Araujo, & Mele <sup>(23)</sup> y

Rodríguez *et al.* <sup>(24)</sup>, como referentes de las estimaciones.

A escala nacional se han llevado a cabo para el Valle del Cauca algunos estudios, en los que se destacan los autores Arevalo, Lozano, & Sabogal <sup>(25)</sup>, Pérez *et al.* <sup>(7)</sup>, Builes, E. <sup>(26)</sup>, Arévalo, D. <sup>(27)</sup>, Restrepo, S. <sup>(8)</sup>, IDEAM <sup>(28)</sup>, y Vega *et al.* <sup>(29)</sup>, entre otros, los cuales presentan resultados de investigaciones en las que describen la importancia de la huella hídrica y sus componentes, además de realizar recomendaciones para mejorar la gestión del recurso hídrico; no obstante, no son muy completos y carecen de detalle. Así mismo, no se han reportado publicaciones que atiendan el tema de huella hídrica para la caña de azúcar orgánica, lo que significa una oportunidad para generar resultados de investigación conducentes a aportar indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico.

En tal sentido, el presente trabajo muestra los resultados de la estimación inicial de la huella hídrica verde y azul, a partir de la aplicación de la metodología propuesta por A Y Hoekstra, *et al.* <sup>(13)</sup>, y el análisis de la sostenibilidad ambiental del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) orgánica en la zona centro del Valle del Cauca.

## 2. Metodología

El análisis de la huella hídrica verde y azul de la producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) orgánica se realizó para un área cultivada de 621,5 hectáreas, ubicadas sobre la zona centro del departamento del Valle del Cauca, en la cuenca hidrográfica del río Amaime, en Colombia. Así mismo, la recolección de información de las variables hidroclimatológicas que se tuvieron en cuenta en el presente estudio se obtuvieron de la estación meteorológica Palmira-La Rita, para el periodo vegetativo del cultivo de 13 meses (ver Tabla 1).

La información requerida para llevar a cabo la simulación en el software CROPWAT 8.0 se obtuvo a partir de información secundaria en el contexto del área de estudio y las condiciones del cultivo. Se trabajó con los datos aportados por la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, elaborada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, a partir de la Ecuación de “Penman-Monteith” <sup>(30)</sup>. Esta metodología ha sido utilizada de forma amplia en diferentes estudios de la HH en el mundo, toda vez que la FAO lo recomienda como método estándar de cálculo para el cómputo de la  $ET_0$  frente a otros métodos o inclusive ecuaciones antiguas propias, por encontrar en éste mayor precisión sobre los resultados para el cultivo de referencia (pasto) en virtud de la calidad de los datos climáticos de entrada (o su ausencia) y de tal manera que los datos de otros lugares del mundo puedan ser comparados entre sí.

*Tabla 1* Información sobre la Estación Meteorológica Palmira La Rita

|                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| <b>País</b>                  | Colombia        |
| <b>Nombre de la estación</b> | Palmira la Rita |
| <b>Altitud</b>               | 1001 msnm       |
| <b>Latitud</b>               | 3.5765          |
| <b>Longitud</b>              | -76.2749        |
| <b>Departamento</b>          | Valle del Cauca |
| <b>Municipio</b>             | Palmira         |

*Fuente: propia*

### 2.1. Cálculo de la huella hídrica para el cultivo de la caña de azúcar orgánica (evapotranspiración de referencia [ $ET_0$ ] calculada por Cropwat 8.0).

El cálculo de la huella hídrica del cultivo de la caña de azúcar orgánica se realizó teniendo como base los lineamientos establecidos en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica, definidos para el proceso de crecimiento de un cultivo agrícola <sup>(31)</sup>, a partir de la fórmula para evapotranspiración de referencia  $ET_0$  de la FAO “Penman-Monteith”.

La huella hídrica total del proceso ( $HH, proc$ ) se determinó a partir de la sumatoria de los componentes verde y azul, en unidad de volumen por unidad de masa ( $m^3/tonelada$ ), de la siguiente forma (ver Ec.(1):

$$HH\ proc = HH\ proc,verde + HH\ proc,azul \quad (1)$$

A continuación, se describe el procedimiento para la determinación de los diferentes componentes de la Huella Hídrica:

La cuantificación de la huella hídrica verde viene dada por la división entre el requerimiento de agua verde del cultivo ( $CWU\ verde$ ) en  $m^3/ha$  y el rendimiento del cultivo ( $Y$ ) en  $t/ha$ , expresada en  $m^3/t$  (ver Ec. (2):

$$HH\ proc, verde = \frac{CWU\ verde}{Y} \quad (2)$$

La huella hídrica azul se cuantificó teniendo en cuenta el volumen de agua para riego aplicado al cultivo proveniente de fuentes superficiales o subterráneas. La ecuación viene dada por la división entre el requerimiento de agua azul del cultivo ( $CWU\ azul$ ) en  $m^3/ha$  y el rendimiento del cultivo ( $Y$ ) en  $t/ha$ , expresada en  $m^3/t$  (ver Ec.(3):

$$HH\ proc, azul = \frac{CWU\ azul}{Y} \quad (3)$$

El consumo de agua verde del cultivo de la caña ( $CWU\ verde$ ), se calculó a partir de la evapotranspiración diaria ( $ET$ ,  $mm/día$ ) que corresponde al agua proveniente de las precipitaciones, durante todo el periodo de crecimiento del cultivo (ver Ec.(4).

$$CWU\ verde = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET\ verde \quad (4)$$

Los requerimientos de agua azul ( $CWU\ azul$ ), se obtuvieron a partir del cálculo requerimientos de riego, el cual se consigue de la diferencia entre las precipitaciones efectivas y la evapotranspiración del cultivo.

La estimación de la evapotranspiración de agua verde y azul para el periodo vegetativo de trece meses, comprendido entre el mes de septiembre de 2017 y 2018, se hizo con la utilización del software CROPWAT 8.0 desarrollado por la FAO<sup>(30)</sup>. Los datos de entrada al primer módulo llamado “Clima/ $ET_0$ ”, se obtuvieron de la Estación “Palmira La Rita”, la cual corresponde a: precipitación, temperatura, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento.

Para el módulo “Clima/ $ET_0$ ” del Cropwat 8.0 de la FAO, los datos de insolación en unidades de horas, fueron calculados a partir del parámetro de Radiación solar en las unidades  $cal/cm^2$ , a través del software de análisis estadístico “R Core Team”<sup>(32)</sup>, utilizando el entorno de desarrollo integrado (IDE) llamado “RStudio”<sup>(33)</sup> en su versión 1.1.447, y los paquetes base del software junto con el paquete “readxl”<sup>(34)</sup> éste último con el propósito de leer los archivos en formato “xls” provenientes del software Microsoft Excel.

Se continuó con el registro de datos en el módulo 2 “Precipitación”, del software para la agricultura, que arrojó resultados de la precipitación efectiva, usando la metodología USDA de EEUU. La selección de la metodología obedece a la representatividad en los análisis de datos obtenidos en áreas geográficas similares, incluida América del Sur<sup>(35)</sup>. Además ha sido una metodología ampliamente utilizada en Colombia, en estudios como la estimación de la demanda hídrica agrícola en la zona plana de la cuenca del río Guabas<sup>(36)</sup> y en el Valle del Cauca para estimar balances de agua en cuencas hidrográficas, donde afirma ser el método más aproximado y recomendado por la FAO para conocer la cantidad de agua realmente aprovechable por las plantas<sup>(37)</sup>.

En la pestaña “cultivo” se ingresaron los datos que representan el cultivo de caña de azúcar orgánica sembrado en un suelo del Valle del Cauca (Franco arcilloso), para el corregimiento de

Amame, de acuerdo con la información obtenida en campo, además de complementar la información con datos teóricos locales aportados por las fuentes de información secundaria. Para el coeficiente del cultivo  $K_c$ , el agotamiento crítico y el factor de respuesta del rendimiento se trabajó con los datos aportados por la guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos, elaborada por la FAO, a partir de la Ecuación de Penman-Monteith <sup>(30)</sup>.

La etapa de crecimiento (días), la profundidad radicular y la altura del cultivo (metros) se obtuvieron de forma experimental en campo. Los datos registrados fueron corroborados a partir de los estudios y datos publicados por el Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia -IDEA, y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC (38), por Mesa et al.<sup>(39)</sup>, y Hernández <sup>(40)</sup> los cuales son congruentes con los datos introducidos en la ventana del programa de simulación; así mismo, la Tasa máxima de infiltración de la precipitación se estableció en 48 mm/día, teniendo en cuenta el estudio realizado por Madero et al. <sup>(6)</sup> y por Torres <sup>(41)</sup>. La profundidad radicular máxima se obtuvo de la información recopilada en campo (60 cm), el agotamiento inicial de la humedad de suelo se definió del porcentaje, a partir del estudio realizado por Mesa et al <sup>(39)</sup>.

### 3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados del cálculo de la huella hídrica de la producción de caña de azúcar orgánica, de un área cultivada de 621.5 ha, en un cultivo de caña de azúcar orgánico ubicado en la zona centro del Valle del Cauca:

#### 3.1. Huella hídrica para el cultivo de la caña de azúcar orgánica (Cálculo de la $ET_0$ Pennman-Monteith, por Cropwat 8.0)

Para la estimación de la huella hídrica del cultivo de caña de azúcar orgánica, se realiza el cálculo de dos componentes: Huella hídrica verde y Huella hídrica azul:

##### 3.1.1. Huella hídrica verde

La huella hídrica verde requirió de la estimación de la cantidad de agua que evapotranspira el cultivo de caña de azúcar orgánica, a partir de la utilización del modelo Cropwat 8.0 de la FAO, el cual utiliza la ecuación de Penman-Monteith, y toma como datos de entrada la información hidroclimatológica, información del cultivo y del suelo del área de estudio para el periodo vegetativo del cultivo de trece meses, comprendido entre el mes de septiembre de 2017 y 2018, para simular el requerimiento de agua que puede ser suplido por la precipitación, así como los requerimientos de riego, lo cual se muestra a continuación en la Tabla 2.

Se observa que el cultivo de caña de azúcar orgánica presenta una huella hídrica verde de 117.07 m<sup>3</sup>/t (ver Tabla 2), lo cual indica que por cada tonelada de caña de azúcar orgánica producida se requieren 117 m<sup>3</sup> de agua lluvia. Este valor varía entre un mínimo de 3.69 m<sup>3</sup>/t en el mes de octubre, y un máximo de 11.44 m<sup>3</sup>/t en el mes de marzo, que coincide con las temporadas de estiaje y lluvia en el Departamento.

Además, se destaca que este resultado es coherente, teniendo en cuenta que en el cultivo de caña de azúcar orgánica se esperarían valores inferiores a los resultados de los cultivos convencionales, de acuerdo con lo obtenido por Restrepo <sup>(8)</sup>, quien encontró una huella hídrica verde de 110 m<sup>3</sup>/t, para el cultivo de caña de azúcar sembrada en el valle geográfico del Rio Cauca, en un escenario de análisis que comprende los años 1980 al 2011 y en condiciones de aplicación de fertilizantes, madurantes y pesticidas (no orgánicas). De igual manera, el estudio realizado por A.Y. Hoekstra et al. <sup>(42)</sup> reporta la huella hídrica verde promedio mundial para el cultivo de caña de azúcar de 130 m<sup>3</sup>/t,

similar a lo reportado más adelante por Gerbens-Leenes et al.<sup>(43)</sup>, quien plantea un valor de 120

m<sup>3</sup>/t para la huella hídrica verde de la caña de azúcar para los principales países

**Tabla 2** Resultados Huella hídrica verde ( $H.H_{verde}$ ) para el cultivo de caña de azúcar orgánica

| MES                                      | SEP           | OCT  | NOV  | DIC  | ENE   | FEB   | MAR   | ABR   | MAY   | JUN  | JUL  | AGO  | SEP  |
|--|---------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| CWU verde (m <sup>3</sup> /ha)           | 973           | 456  | 694  | 1191 | 1367  | 1409  | 1415  | 1351  | 1322  | 1204 | 1182 | 1094 | 821  |
| HH (m <sup>3</sup> /t)                   | 7.87          | 3.69 | 5.61 | 9.63 | 11.04 | 11.39 | 11.44 | 10.92 | 10.69 | 9.74 | 9.56 | 8.85 | 6.64 |
| <b>TOTAL HH verde (m<sup>3</sup>/t):</b> | <b>117.07</b> |      |      |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |

Fuente: propia

productores en el mundo, y luego por Renderos<sup>(44)</sup> con 128 m<sup>3</sup>/t para un cultivo de caña de azúcar en El Salvador. De manera adicional, se resalta que los resultados de las diferentes investigaciones pueden presentar datos en su contexto inherentes a las condiciones específicas de localización del cultivo, por cuanto depende de la oferta hídrica de agua lluvia, del suelo, la variedad de caña sembrada, entre otros, los cuales pueden influir en el uso del agua verde.

### 3.1.2. Huella hídrica azul

La huella hídrica azul se cuantificó para el cultivo de caña de azúcar orgánica, como se observa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** El cultivo de caña de azúcar orgánica presenta una huella hídrica azul de 37.44 m<sup>3</sup>/t, lo cual indica que por cada tonelada de caña de azúcar orgánica producida se requieren 37 m<sup>3</sup> de agua lluvia. Este valor oscila entre un mínimo de 0.00 m<sup>3</sup>/t en el mes de octubre, donde las condiciones de lluvia fueron suficientes para

satisfacer la demanda hídrica del cultivo y un máximo de 9.27 m<sup>3</sup>/t en el mes de julio, lo cual coincide con la época de estiaje en el área de estudio, por lo cual requirió de la aplicación de riego para satisfacer el déficit hídrico proveniente del agua de lluvia.

Así mismo, se resalta que este resultado es inferior en comparación con estudios previos reportados para el cultivo de caña tradicional, el primero de ellos, el estudio realizado por A.Y. Hoekstra et al.<sup>(42)</sup> el cual reporta la huella hídrica azul promedio mundial para el cultivo de caña de azúcar de 52 m<sup>3</sup>/t, continuando con Renderos<sup>(44)</sup>, quien reporta 71 m<sup>3</sup>/t para El Salvador. Se aclara que esta menor huella hídrica azul no implica necesariamente una mayor eficiencia hídrica de los cultivos orgánicos, pues esta varía según las condiciones naturales del área de estudio, dependiendo directamente de la precipitación efectiva, condiciones climáticas, el suelo, y de los requerimientos específicos de la variedad sembrada, principalmente.

**Tabla 3** Huella hídrica total ( $H.H_{total}$ ) del cultivo de caña de azúcar orgánica

| Componentes                              | Resultado | Composición porcentual (%) |
|--|-----------|----------------------------|
| Huella Hídrica verde (m <sup>3</sup> /t) | 117.07    | 76                         |

|  |        |     |
|--|--------|-----|
| Huella Hídrica azul (m <sup>3</sup> /t)  | 37.44  | 24  |
| HUELLA HIDRICA TOTAL (m <sup>3</sup> /t) | 154.51 | 100 |

Fuente: propia

No obstante, se aclara que también se encuentran resultados inferiores al obtenido, como lo conseguido por Restrepo <sup>(8)</sup>, quien encontró una huella hídrica azul de 17 m<sup>3</sup>/t, para el cultivo de caña de azúcar sembrada en el valle geográfico del Rio Cauca, y lo publicado por Gerbens-Leenes et al. <sup>(43)</sup>, donde indican un valor de 10 m<sup>3</sup>/t para la huella hídrica azul de la caña de azúcar para los principales países productores en el mundo, lo cual se asocia a condiciones específicas de localización del cultivo, por cuanto depende de la oferta hídrica de agua lluvia y agua superficial y/o subterránea, además de las condiciones del suelo, del clima, y de las prácticas de cultivo.

### 3.1.3. Huella hídrica total

La huella hídrica total agrícola para el cultivo de caña de azúcar orgánico (H.H<sub>total</sub>) fue la siguiente: (

Tabla 3). Así mismo, se compararon los resultados obtenidos con otros estudios realizados en sistemas de caña de azúcar (no orgánica), como se muestra a continuación en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Acorde con la información reportada en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la huella hídrica total para el cultivo de caña de azúcar orgánica fue de 155 m<sup>3</sup>/t, inferior a los reportes de investigaciones realizadas en caña de azúcar (en condiciones no orgánicas), como lo obtenido para Colombia por Restrepo <sup>(8)</sup> y Gerbens-Leenes et al. <sup>(43)</sup> con 201 m<sup>3</sup>/t y 240 m<sup>3</sup>/t respectivamente; también se encuentra por debajo de los resultados reportados para Brasil con 201 m<sup>3</sup>/t <sup>(45)</sup>, El Salvador 203 m<sup>3</sup>/t

<sup>(44)</sup>, Tailandia 202 m<sup>3</sup>/t <sup>(46)</sup> y el promedio mundial con 197 m<sup>3</sup>/t <sup>(42)</sup>.

Es de aclarar que las comparaciones sobre huella hídrica por componente y total para caña de azúcar orgánica y no orgánica anteriormente expuestas, se realiza en virtud de los reportes encontrados en la literatura luego de una revisión ampliada en bases de datos, donde se encuentra que este es el primer estudio que se realiza en caña de azúcar en condiciones orgánicas, lo cual se considera un avance significativo en el conocimiento para el uso de los recursos naturales, que aporta un resultado aproximado que aún no se encuentra reportado en la literatura, además de ser necesaria la investigación asociada al cálculo de la huella hídrica gris.

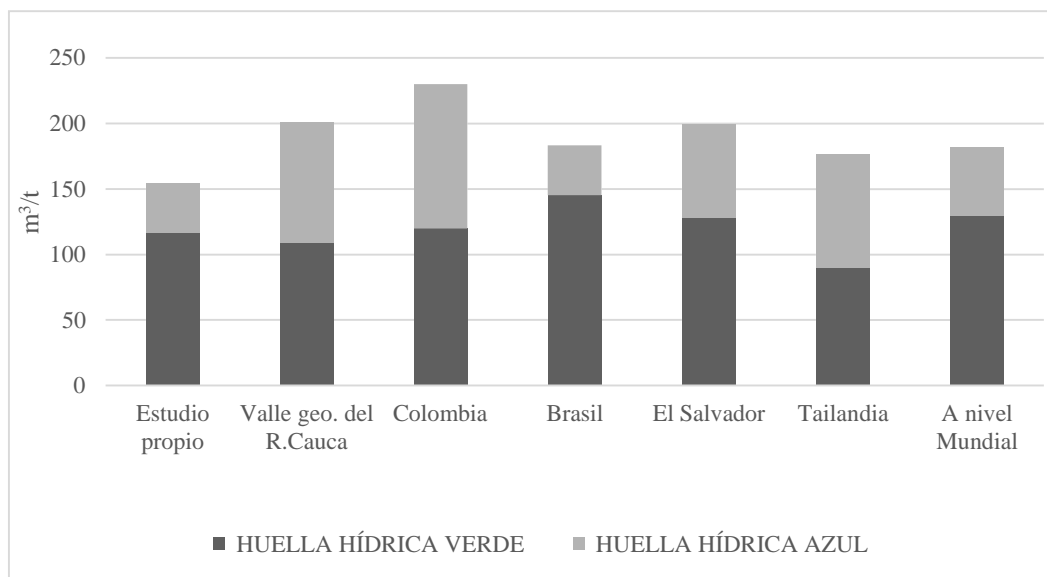
Ahora, si se compara este resultado con el que presenta el cultivo de caña de azúcar convencional, se puede inferir que el cultivo de caña orgánica presenta ventajas competitivas en términos ambientales, por el uso de los recursos hídricos puesto que se presenta una reducción significativa en la presencia de sustancias químicas fertilizantes sintéticas, madurantes, pesticidas, entre otros, cuyas fracciones de lixiviación llegan a las fuentes de agua, frente a los posibles aportes que puede generarse en el cultivo en condiciones de prácticas orgánicas lo cual podría cuantificarse desde la huella hídrica gris.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta para los resultados expuestos, que los análisis pueden presentar resultados de contexto que contribuyen a explicar las razones por las que el valor reportado en el presente estudio es inferior a los



reportados por los otros autores, como por ejemplo, las condiciones del área de estudio asociadas a características biofísicas, climatológicas, geológicas, prácticas de cultivo,

variedad de caña, prácticas de riego, calidad de agua de riego, usos del suelo, calidad y cantidad de agroquímicos utilizados, principalmente.



**Figura 1.** Comparación resultados de huella hídrica sobre caña de azúcar orgánica y no orgánica. Fuente: propia.

Según Espinel et al. <sup>(47)</sup> los cultivos orgánicos promueven una producción de alimentos saludables y seguros desde el punto de vista ambiental y social; si bien la cuenca hidrográfica donde se localiza el cultivo tiene una oferta de servicios ambientales que están acordes con la actividad productiva, no obstante, debe haber un equilibrio para que estos recursos tales como el agua no se vean afectados por la alta producción agrícola, lo cual va a generar conflictos socioambientales por el uso del agua. Lo anterior se encuentra de manera acorde con lo que corresponde al Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Amaime <sup>(48)</sup>, por lo que podría considerarse la ventaja de menor requerimiento de agua de riego en el cultivo de caña de azúcar orgánica por sobre un cultivo convencional.

#### 4. Conclusiones

El estudio sobre la huella hídrica total del cultivo de caña de azúcar orgánica para un área de estudio de 521.5 ha, ubicadas sobre la cuenca del río Amaime, en el valle geográfico del río Cauca, mostró que es de aproximadamente 155 m<sup>3</sup>/t, en donde la huella de agua verde aportó el 76 % del total de agua consumida por el cultivo, mientras que el 24 % se atribuyó al uso consuntivo del agua desde fuentes superficiales cercanas y de pozos de agua subterránea concesionados.

Los resultados de la huella hídrica verde y azul representan la primera aproximación en la estimación de la huella hídrica agrícola para el cultivo de caña de azúcar sembrado de forma orgánica, por lo cual es necesaria la realización de estudios más específicos, que contribuyan con aportes de información conducente a la gestión integrada del recurso hídrico en cualquier escala y área geográfica.

## 5. Referencias

- (1) UNESCO. Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo: Agua para un mundo sostenible. [PDF]. WWAP. Perusa; (Italia); 2015. 8 p.
- (2) IDEAM, INVEMAR IIAP e IAvH. Informe del Estado del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2016 [Internet]. Bogotá, D.C.; 2017 [cited 2018 Nov 17]. Available from: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023834/INFORME\\_E.A\\_2016.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023834/INFORME_E.A_2016.pdf)
- (3) WWDR. Agua para un mundo sostenible. [PDF]. Resumen ejecutivo. Perugia (Italia); 2015. 12 p.
- (4) FAO. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Roma [Internet]. 2011;50. Available from: <http://www.fao.org/docrep/015/i1688s/i1688s00.pdf>
- (5) FAO. Uso del modelo AquaCrop para estimar rendimientos para el cultivo de caña de azúcar en el departamento del Valle del Cauca. [Internet] 2013; 1–66 p. Available from: [https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/19/13886900624180/cartilla\\_caa\\_de\\_azucar.pdf](https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/19/13886900624180/cartilla_caa_de_azucar.pdf)
- (6) Madero-Morales E, Ramírez-Alzate JA, Albán Á, Escobar BY, García LF, Peña-Artunduaga ME. Compactación de suelos cultivados con caña de azúcar en la zona sur del Valle del Cauca, Colombia. *Acta Agronómica* [Internet]. 2011; 244–51 p. Available from: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28122011000300005&lang=pt](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122011000300005&lang=pt)
- (7) Pérez MA, Peña MR, Alvarez P. Agroindustria cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente y Sociedad* [Internet]. 2011;14(2):153–78. Available from: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1414-753X2011000200011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2011000200011&lng=es&tlng=es)
- (8) Restrepo S, Bedoya D. El uso del agua en el cultivo de caña de azúcar. Una mirada desde la huella hídrica. Santiago de Cali [Internet]. Universidad del Valle. 2015; 165 p. Available from: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/13091/CB-0519672.pdf?sequence=1>
- (9) IDEAM. Reporte de Avance del Estudio Nacional del Agua ENA 2018 [Internet]. Bogotá, D.C.; 2018 [cited 2018 Nov 17]. Available from: [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023846/Cartilla\\_ENA\\_2018.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023846/Cartilla_ENA_2018.pdf)
- (10) Giorelli C, Huerta R. Análisis económico de la Huella Hídrica del Banano Orgánico en Sullana para los años 2000 al 2014 [Internet]. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú. 2018. 50 p.
- (11) FiBL & IFOAM Organics International. The world of organic agriculture. Statics and Emergin Trends 2021. [PDF]. Bonn (Alemania); 2021. 340 p.
- (12) Hoekstra AY. Sustainable, efficient, and equitable water use: the three pillars under wise freshwater allocation. *Wiley Interdiscip Rev Water* [Internet]. 2014;1(1):31–40. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/wat2.1000>
- (13) Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. The Water Footprint Assessment Manual: setting the global standard. [PDF]. London. 2011. 364 p.
- (14) Jorrat M del M, Araujo PZ, Mele FD. Sugarcane water footprint in the province of Tucumán, Argentina. Comparison

- between different management practices. *Journal of Cleaner Production*. [Internet]. 2018;188:521–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.242>
- (15) Schyns JF, Hoekstra AY. The added value of Water Footprint Assessment for national water policy: A case study for Morocco. *PLoS One*. [PDF]. 2014;9(6).
- (16) Gheewala SH, Silalertruksa T, Nilsalab P, Mungkung R, Perret SR, Chaiyawannakarn N. Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. *Water (Switzerland)*. [PDF]. 2014;6(6):1698–718.
- (17) Mekonnen MM, Pahlow M, Aldaya MM, Zarate E, Hoekstra AY. Sustainability, efficiency and equitability of water consumption and pollution in latin America and the Caribbean. *Sustain*. [PDF]. 2015;7(2):2086–112.
- (18) Pahlow M. SJ& FG. Water Footprint Assessment to inform Water Management and Policy Making in South Africa. *Water SA*. [PDF]. 2015;41(3):300–12.
- (19) Silva V de PR da, Albuquerque MF de, Araújo LE de, Campos JHB da C, Garcéz SLA, Almeida RSR. Mediciones y modelización de la huella hídrica de la caña de azúcar cultivada en el Estado de Paraíba. *Rev Bras Eng Agrícola e Ambient*. [PDF]. 2015;19(6):521–6.
- (20) Barbosa EAA, Matsura EE, dos Santos LNS, Gonçalves IZ, Nazário AA, Feitosa DRC. Water footprint of sugarcane irrigated with treated sewage and freshwater under subsurface drip irrigation, in Southeast Brazil. *J Clean Prod*. [PDF]. 2017;153:448–56.
- (21) Zhuo L, Mekonnen MM, Hoekstra AY. Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China - With a focus on crop production, consumption and trade. *Environ Int*. [PDF]. 2016;94:211–23.
- (22) Zhang Y, Zhang J, Tang G, Chen M, Wang L. Virtual water flows in the international trade of agricultural products of China. *Sci Total Environ*. [PDF]. 2016;557–558:1–11.
- (23) Jorrat M del M, Araujo PZ, Mele FD. Sugarcane water footprint in the province of Tucumán, Argentina. Comparison between different management practices. *Journal of Cleaner Production*. [PDF]. 2018;188:521–9.
- (24) Rodriguez CI, De Ruiz Galarreta VA, Kruse EE. Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*. [PDF]. 2015;90:91–6.
- (25) Arevalo D, Lozano JG, Sabogal J. Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia Sector Agrícola. *Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*. [PDF]. 2011;7:103–26.
- (26) Builes-Cedula ED. Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce. [PDF]. Universidad Nacional de Colombia; 2013. 90 p.
- (27) Arévalo D. Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica. *Wwf Colombia*. [PDF]. Cali (Colombia); 2012. 48 p.
- (28) IDEAM. Estudio Nacional del Agua: Información para la toma de decisiones. [PDF]. Vol. 3. 2015. 24 p.
- (29) Vega DI, Redondo JM, Olivar G, Vega I, Olivar JM, De GT. Tendencias del Consumo de Agua en la Producción de Bioetanol en Colombia. [PDF]. XXI(c):93–106 p.
- (30) Allen G. R, Pereira LS, Raes D, Smith M. Evapotranspiración del cultivo. *FAO*.

- Estudios FAO Riego y Drenaje 56. [PDF]. 2006;297 p.
- (31) Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. The Water Footprint Assessment Manual: setting the global standard. [PDF]. London. 2011. 364 p
- (32) R Core Team. R: The R Project for Statistical Computing [Internet]. 2018 [cited 2018 Oct 7]. Available from: <https://www.r-project.org/>
- (33) RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R [Internet]. 2016 [cited 2018 Oct 7]. Available from: <https://www.rstudio.com/>
- (34) Wickham, H; Bryan J. Read Excel Files [R package readxl version 1.2.0] [Internet]. Comprehensive R Archive Network (CRAN); 2017 [cited 2018 Oct 7]. Available from: <https://cran.r-project.org/web/packages/readxl/index.html>
- (35) Morábito J, Salatino S, Hernández R, Schilardi C, Álvarez A, Palmieri PR. Distribución espacial de la evapotranspiración del cultivo de referencia y de la precipitación efectiva para las Provincias del centro-noreste de Argentina. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*. [PDF]. 2015;47(1):109–25.
- (36) Paz S, et al. Escenario de demanda hídrica agrícola para la optimización del riego de los pequeños productores de la zona plana de la cuenca del río Guabas . *Informador técnico (Colombia)*. [PDF]. Ed. 76. 2012; 5–12 p.
- (37) Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. Guía Balance oferta - demanda de agua. [PDF]. 2015. p. 39.
- (38) IDEA; CVC. PERFIL AMBIENTAL URBANO MUNICIPIO DE PALMIRA. 2008;55. [Internet]. Available from: [http://www.idea.palmira.unal.edu.co/paginas/proyectos/paginas/perfil\\_comuna5/perfil\\_amb.pdf](http://www.idea.palmira.unal.edu.co/paginas/proyectos/paginas/perfil_comuna5/perfil_amb.pdf).
- (39) Mesa M, Rodríguez D. Cálculo comparativo de la huella hídrica como criterio de sostenibilidad para el sistema productivo de caña panelera [PDF]. Universidad de la Salle; Bogotá, D.C. 2016. 140 p.
- (40) Hernández G. Modelamiento Ecohidrológico de la Humedad del Suelo en el Valle del Río Cauca.[PDF]. Universidad Nacional de Colombia; 2010. 242 p.
- (41) Torres J (Cenicaña). Riegos [Internet]. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia. Cali; 1995. Available from: <http://books.google.com/books?id=HZw0AQAAIAAJ&pgis=1>
- (42) Hoekstra AY, Mekonnen MM. The Green, Blue and Grey Water Footprint of Crops and Derived Crop Products. Volume 1 : Main Report. *Value Water Res Rep Ser No 47* [Internet]. 2010;1(16):80. Available from: <http://wfn.project-platforms.com/Reports/Report47-WaterFootprintCrops-Vol1.pdf>
- (43) Gerbens-Leenes W, Hoekstra AY. The water footprint of sweeteners and bio-ethanol. *Environ Int* [Internet]. 2012;40(1):202–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2011.06.006>
- (44) Renderos R. Huella Hídrica del Cultivo de Caña de Azúcar. *ResearchGate* [PDF]. 2016;(Julio):8 p.
- (45) Scarpore FV, Hernandes TAD, Ruiz-Correa ST, Kolln OT, Gava GJDC, Dos Santos LNS, et al. Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tieté/Jacaré watershed assessment. *Journal of Cleaner*

- Production. [PDF]. 2016;112:4576–4584 p.
- (46) Kongboon R, Sampattagul S. The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. *Procedia - Social and Behavioral Scienses* [Internet]. 2012;40:451–460. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042812006829>
- (47) Espinel G CF, Hector J MC, Espinoza Perez D. Cadena de Cultivos Ecologicos en Colombia. *ResearchGate*. [PDF]. 2005;(68):30 p.
- (48) Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. Plan ordenacion y manejo de la cuenca hidrografica del rio amaime. [PDF]. 2010. 305 p