

**Huella hídrica de la sede Poblado,
Universidad CES**

Estudiante

Juanita Nicole Valentina Salas Caballero

Director(es)

Hilda María Palacio Betancour PhD

Trabajo de Grado

En la modalidad de *Monografía*

Programa de Ecología

Universidad CES

Medellín

Junio 2023

6 de junio de 2023.

Estimados integrantes CI&I
Facultad de Ciencias y Biotecnología
Universidad CES

Se informa que el estudiante **Juanita Nicole Valentina Salas Caballero** identificado con cédula: No. 1005338534 ha concluido de manera satisfactoria su trabajo de grado titulado **“Huella hídrica de la sede Poblado, Universidad CES”**.

En calidad de **director(es)** del proyecto en mención, y luego de haber revisado con detalle y alto rigor científico y académico el presente documento final, se aprueba este trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de **Ecólogo**.

Hilda María Palacio B.

Hilda María Palacio Betancour
Cédula: 43256408
Universidad CES

Huella hídrica de la sede Poblado, Universidad CES

Juanita Nicole Valentina Salas Caballero e Hilda María Palacio Betancur

Resumen

Introducción. La escasez de agua tiene lugar cuando la demanda supera el suministro de agua dulce en un área determinada; las causas están relacionadas con la intervención humana, debido al crecimiento de la población, desarrollo económico y a la deficiente gestión del agua. El consumo de agua y los impactos pueden ser estimados mediante indicadores como la huella hídrica que mide el uso consuntivo del agua dulce a través de la cadena de suministro completa y el volumen contaminado. El objetivo general es determinar la huella hídrica de la comunidad Universitaria de la sede Poblado de la Universidad CES para el año 2022 y generar recomendaciones que permitan su reducción.

Métodos. Para el cálculo de la huella hídrica se adaptó la metodología propuesta por Hoekstra (2011) para aguas de uso doméstico de la huella hídrica de una empresa y con base en revisiones bibliográficas se plantearon estrategias para la reducción de la huella hídrica y cada uno de los procesos que se tuvieron en cuenta para el cálculo (HH azul, HH verde, HH gris, HH papel, HH electricidad).

Desarrollo (resultados y discusiones). Los resultados del cálculo de la huella hídrica indicaron que durante el periodo de 2022 se consumieron 211.478 m³/año: De estos, 56.326 m³ /año (27%) fueron por la acción directa de los procesos necesarios para el funcionamiento de la Universidad (HH directa) y 155.152 m³ /año (73%) corresponden a la cadena de suministro (HH indirecta). De un total de 56.326 m³/año de la huella directa, la HH azul alcanzó 22.372 m³/año, la HH verde 358 m³/año y la HH gris 33.596 m³/año. Por otro lado, la HH energía aportó 155.152 m³/año y la HH papel solo contribuyó el 8% del total. En la sede Poblado de la Universidad CES se han implementado diversas estrategias que permitan cumplir con el objetivo de consolidarse como una universidad “verde” en el 2025. Por lo que, a partir de los resultados de la huella hídrica, se propusieron algunas estrategias para su reducción como campañas educativas para el ahorro y uso eficiente, aumentar la capacidad de almacenamiento de aguas lluvias, funcionamiento de los paneles solares, valerse de medios digitales únicamente, entre otros.

Conclusiones. Se determinó la huella hídrica directa e indirecta de la sede Poblado de la Universidad CES y se lograron plantear estrategias para su posible reducción en el corto, mediano y largo plazo. Además, se establece una relación entre los recursos hídricos y el consumo humano, por medio del volumen de agua que se requiere para los diferentes procesos de producción de bienes y servicios, resaltando la relevancia del uso sostenible del agua dulce para el buen funcionamiento de los ecosistemas, su importancia económica y bienestar social.

Palabras clave: recurso hídrico, gestión, sostenibilidad, indicador, directa, indirecta.

Nota sobre formato del trabajo de grado

El siguiente trabajo se presenta como un **estudio de caso**, formateado de acuerdo a las instrucciones para autores de la revista ***Gestión y Ambiente***, las cuales se pueden consultar vía web en:

<https://scienti.minciencias.gov.co/publindex/#/revistasPublindex/detalle?tipo=R&idRevista=234> (revisado el 06 de junio de 2023).

Estudio de caso: Huella hídrica de la sede Poblado, Universidad CES

Water Footprint of sede Poblado, Universidad CES

Juanita Salas-Caballero¹, Hilda Palacio-Betancur²

¹ Programa de Ecología, Universidad CES, Facultad de ciencias y biotecnología, Antioquia, Medellín, Colombia. 0000-0002-8134-0984

² Grupo Biología CES, Programa de Ecología, Facultad de ciencias y biotecnología, Universidad CES, Medellín, Colombia. 0000-0002-2892-7962

Resumen

La huella hídrica (HH) es un indicador del uso de agua dulce que mide el uso consuntivo a través de la cadena de suministro completa y el volumen contaminado por unidad de tiempo para elaborar un producto o uso, siendo un instrumento importante para la evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos y planteamiento de estrategias para reducirla. La Universidad CES es una institución de educación superior con una comunidad de 8.360 personas y espera consolidarse como una institución “verde”, para lo cual viene adoptando buenas prácticas ambientales en todas sus sedes. En consecuencia, la adopción de la metodología “The Water Footprint Assessment” permitió conocer la huella hídrica directa con 56.326 m³ y la indirecta con 155.152 m³ de la sede Poblado en el 2022. Este cálculo permitió además, generar información sobre el consumo y formular de estrategias para realizar una mejor gestión y reducción de la huella en la institución.

Palabras clave: recurso hídrico, gestión, sostenibilidad, indicador, directa, indirecta

Summary

The water footprint (HH) is an indicator of the use of freshwater that measures the consumptive use through the entire supply chain and the volume contaminated per unit of time to produce a product, being an important instrument for the evaluation of sustainability of water resources and approach to strategies to reduce it. CES University is a higher

education institution that has a community of 8,360 people and hopes to consolidate itself as a "green" institution for which good environmental practices are being adopted in all its locations, therefore, the adaptation of the methodology "The Water Footprint Assessment" allowed knowing the result of the direct water footprint with 56.326 m³ and the indirect one with 155.152 m³ of the sede Poblado in the year of study. This calculation made it possible to generate information on consumption, in addition to formulating strategies for better management and reduction of the footprint in the institution.

Keywords: water resource, management, sustainability, indicator, direct, indirect

1. Introducción

El agua dulce es un recurso finito, vulnerable y vital para los seres vivos, el equilibrio y la salud de los ecosistemas (Hogeboom, 2020). Aunque el 70% de la superficie del planeta tierra este cubierto de agua, solo el 2,5% es agua dulce y menos del 1% está disponible para consumo humano (WWF, 2020). En los últimos 20 años la disponibilidad en volumen y calidad de este recurso han disminuido a nivel global en cerca de un 20% y en América Latina en un 22%, debido al crecimiento de la población, al desarrollo económico, a la deficiente gestión del recurso y a la falta de información en las decisiones políticas (ONU, 2020).

En Colombia, la oferta hídrica generada por la precipitación anual en términos de rendimiento es de 56 l/s por km², una cifra cinco veces mayor que el promedio mundial (10 l/s-km²) que duplica la cantidad de agua en Latinoamérica (21 l/s-km²). La demanda doméstica y la demanda hídrica total del país por persona alcanza los 0,157 m³/día y 2,117 m³/día, respectivamente (IDEAM, s.f.). Sin embargo, esta riqueza hídrica está amenazada por el manejo inadecuado y la contaminación del recurso hídrico a través vertimientos de origen doméstico, industrial y agrícola (Botero, 2020). En consecuencia, es importante garantizar el abastecimiento de agua para el consumo humano y las actividades productivas (Organization & Salud, 1997) mediante la gestión y uso eficiente del agua y la conservación de los ambientes acuáticos como hábitat de especies de valor ecológico y económico.

El consumo de agua y los impactos sobre el recurso hídrico pueden ser estimados mediante indicadores como la huella hídrica, que mide el uso consuntivo a través de la cadena de suministro completa (evaporada o incorporada) y el volumen contaminado por unidad de tiempo para elaborar un producto (Hoekstra, 2014). La huella hídrica total de un consumidor o productor hace referencia al uso directo e indirecto del agua. Este concepto incluye la huella hídrica azul (HH azul), la huella hídrica verde (HH verde) y la huella hídrica gris (HH gris) que permiten estimar el volumen de agua utilizada, la procedencia y el ciclo completo de producción de un producto, desde su manufacturación hasta su llegada al usuario final (Amórtégui et al., 2016).

La huella hídrica azul es el uso consuntivo del agua superficial o subterránea, es decir, el agua que se evapora, se incorpora al producto, no regresa a la misma zona de captación o en el mismo periodo. La huella hídrica verde es el agua lluvia que se almacena en la superficie del suelo o en la vegetación y no se transforma en escorrentía o en agua subterránea y la huella hídrica gris es el volumen de agua necesario para asimilar una carga contaminante en un cuerpo de agua siguiendo las concentraciones normales y las normas de calidad de agua (Hoekstra, 2011).

En los últimos años se ha calculado la huella hídrica en diferentes sectores, con el fin de conocer el volumen de agua que se emplea en la cadena de producción de bienes y servicios y finalmente, hacer un uso eficiente del agua y generar alternativas para reducir la huella hídrica. Fernandez-Scagliusi (2021) evaluó el uso de agua en la minería mediante la huella hídrica, con el fin de mejorar la gestión de los recursos hídricos en este sector y concluyó que esta herramienta es fundamental para la recuperación de la mayor cantidad de agua y lograr la sostenibilidad del sector minero. Por su parte, al revisar la información secundaria sobre la huella hídrica Loaiza-Gómez y Quiceno-Zuluaga (2018) concluyeron que en Colombia la agricultura genera un alto impacto sobre el recurso hídrico.

Tuiran et al. (2017) calcularon una huella hídrica directa de 164.963,3 m³/año e indirecta de 443.710,97 m³/año en la Universidad de Córdoba (Montería) y concluyeron que además del consumo directo de agua (HH directa), la cadena de suministro (HH indirecta) deja una HH incluso mayor. No obstante, esta HH no es considerada generalmente por las instituciones

en la toma de decisiones. De acuerdo con (Arboleda et al., 2022) el estudio en las instituciones de educación superior evidencia una reducción de la huella hídrica como resultado de la implementación de diferentes estrategias.

La sostenibilidad es transversal y fundamental en el Plan Estratégico de Desarrollo 2020 – 2025 de la Universidad CES, que según el informe de sostenibilidad 2021 (Universidad CES, 2021) espera consolidarse como una institución “verde” para lo cual se vienen adoptando buenas prácticas ambientales de conservación de la biodiversidad en todas sus sedes, así como estrategias de concientización de la comunidad universitaria sobre el uso racional de los recursos.

En este estudio se calculó la huella hídrica directa (HH azul, HH verde y HH gris) e indirecta (HH papel y HH electricidad) durante el año 2022 de la sede Poblado de la Universidad CES, en Medellín, Colombia a través de la metodología propuesta por Hoekstra (2011). A partir del cálculo de la huella hídrica de la institución se plantearon alternativas para promover el consumo responsable y sostenible del agua en la sede Poblado de la Universidad CES. La gestión del recurso hídrico sugiere sistemas de control en los servicios sanitarios (identificación de fugas en cañería e inodoros y su mantenimiento y mejora), riego para las áreas verdes con aguas lluvias, planta de tratamiento de aguas residuales, desinfección y capacitación al personal en el uso eficiente del agua (Billinghurst Vargas, 2020).

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La Universidad CES, fundada en 1977, es una Institución de Educación Superior (IES), autónoma, privada, sin ánimo de lucro y auto sostenible que desarrolla actividades de docencia, investigación, innovación, extensión y sostenibilidad. En el 2021, 4.964 estudiantes de pregrado y 1.618 posgrado hacían parte de alguno de los 15 programas de pregrado, 38 especializaciones, 57 maestrías y tres doctorados que tiene la Universidad. De acuerdo con el Informe de sostenibilidad del 2021 (Universidad CES, 2021), la

Universidad contaba con un equipo humano conformado por 1.778 empleados entre directivos (1,41%), docentes (43,87%) y personal administrativo (54,72%). El análisis se realizó en la sede Poblado, campus principal de la Universidad, conformado por tres bloques (A, B y C) con aulas, espacios de esparcimiento y recreación para la comunidad universitaria, biblioteca y oficinas administrativas que permiten el desarrollo de sus funciones.

La sede Poblado se abastece de tres fuentes de agua (acueducto municipal, aguas lluvias y aguas superficiales). El consumo de agua potable se determinó a partir de los consumos registrados en las facturas de la Empresa de Servicios Públicos de Medellín (EPM) en el año 2022; el volumen de agua lluvia almacenado se cuantificó mediante un contador volumétrico ubicado a la salida de los tanques de almacenamiento y el caudal captado de la quebrada “La Poblada”, ubicada en el intercambio vial de la calle 10 (aguas superficiales) se cuantificó a través de un vertedero rectangular, estructura hidráulica avalada por el área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA).

2.2 Cálculo de la huella hídrica

La información para el cálculo de la huella hídrica de la sede Poblado fue proporcionada por la Oficina de Sostenibilidad de la Universidad CES. Para la huella hídrica azul se calculó el consumo de agua potable (EPM), el agua extraída de la concesión (quebrada “La Poblada”) y el agua lluvia captada por la Universidad. Para la huella hídrica verde se estimó el agua empleada en el riego de áreas verdes proveniente del agua lluvia captada y para la huella hídrica gris se asumió un valor de 0,85 del coeficiente de retorno, siguiendo las recomendaciones del Artículo 134 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. Asimismo, para la huella hídrica indirecta se consideró el consumo de papel y energía eléctrica de la sede.

Para el cálculo de la huella hídrica se adaptó la metodología propuesta por Hoekstra (2011) para aguas de uso doméstico de la huella hídrica de una empresa. De acuerdo con la propuesta de este autor, los consumidores pueden usar los productos de diversas maneras por lo que es necesario identificar las actividades generales de consumo de agua

necesarias para estimar la huella hídrica. Para esto, se definieron tres fases en el proceso de evaluación:

1. Definición de objetivos y alcance
2. Cuantificación de la huella hídrica
3. Formulación de respuestas a la huella hídrica

La huella hídrica total se calculó como la sumatoria de la huella hídrica directa azul, verde y gris y la huella hídrica indirecta del papel y la electricidad. Como material suplementario se presenta la guía metodológica para el cálculo de la huella hídrica (directa e indirecta) de la Sede Poblado de la Universidad CES, Medellín, Colombia.

2.2.1 Huella hídrica directa

Para el cálculo de la huella hídrica azul se tomó el agua proveniente del acueducto (EPM) debido a que proviene de una cuenca diferente a la del río Aburrá y el agua evaporada del total de agua lluvia y captada de la quebrada La Poblada. Por su parte, la huella hídrica verde fue estimada a partir del consumo de riego mensual y para el cálculo se consideraron las materas y el área de riego de la sede Poblado de la Universidad CES, el número de riegos por semana y los litros aplicados a cada matera (300 unidades) y por m² (4700 m²).

Finalmente, para el cálculo la huella hídrica gris se cuantificó la concentración de la DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y fósforo total a partir de una muestra de agua tomada en el Bloque C de la sede Poblado de la institución, la cual fue caracterizada en el laboratorio ambiental de la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Dichos valores fueron tomados como concentración del contaminante en el vertimiento. De la Resolución 631 del MINAMBIENTE de 2015 se tomaron los límites máximos permisibles (C_{max}) para la DBO₅ y la DQO (Artículo 16) y para los sólidos suspendidos totales (SST) del Artículo 8. Las concentraciones máximas aceptables de nitrógeno total Kjeldahl (NTK) y fósforo total se tomaron con base en los objetivos de calidad establecidos en el POMCA del río Aburrá.

2.2.2 Huella hídrica indirecta

Los valores de consumo de papel fueron proporcionados por el área de compras de la sede Poblado de la Universidad CES. Para el cálculo de la huella hídrica del papel, se consideraron las resmas de papel, el papel higiénico y las toallas de mano compradas mensualmente. Como factor de conversión se siguieron las propuestas de Cortés et al., (2007) y Ortiz Sarango (2018) de 10L/hoja y 10L/rollo respectivamente.

El consumo de energía eléctrica se tomó de las facturas de la Empresa de Servicios Públicos de Medellín (EPM). Como porcentaje de generación de energía hidroeléctrica se asumió un valor de 0,0036 y un factor de conversión de 22L de acuerdo con la recomendación del ICONTEC (Gerbens-Leenes et al., 2009).

2.3 Planteamiento de alternativas para la reducción de la huella hídrica

Por medio del área de sostenibilidad de la Universidad CES, se conocieron las necesidades que presenta la institución en relación con el manejo del recurso hídrico. Además, con base en revisiones bibliográficas se plantearon estrategias para la reducción de la huella hídrica y cada uno de los procesos que se tuvieron en cuenta para el cálculo (HH azul, HH verde, HH gris, HH papel, HH electricidad).

3. Resultados

Los resultados del cálculo de la huella hídrica de la sede Poblado de la Universidad CES indicaron que durante el periodo de 2022 se consumieron 211.478 m³/año: De estos, 56.326 m³ /año (27%) fueron por la acción directa de los procesos necesarios para el funcionamiento de la Universidad (HH directa) y 155.152 m³ /año (73%) corresponden a la cadena de suministro (HH indirecta) (Figura 1A).

De un total de 56.326 m³/año de la huella directa, la HH azul alcanzó 22.372 m³/año (40%), la HH verde 358 m³/año (1%) y la HH gris 33.596 m³/año (60%) (Figura 1B). Por otro lado, la HH energía aportó una fracción considerable a la huella hídrica indirecta con el 92% de los 155.152 m³/año, la HH papel solo contribuyó el 8% del total (Figura 1C).

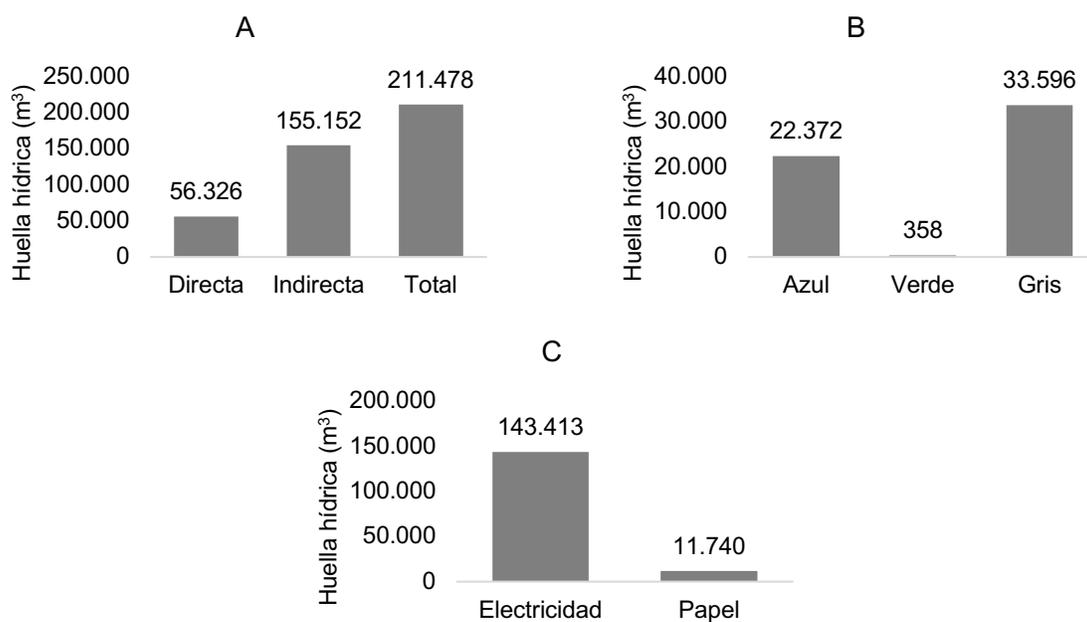


Figura 1. Resultado de la huella hídrica directa, indirecta y total (A). Huella hídrica directa azul, verde y gris (B). Huella hídrica indirecta electricidad y papel (C) de la sede Poblado de la Universidad CES durante el 2022.

Huella hídrica directa. La HH azul de la sede Poblado fluctuó entre 1.287 m³ en diciembre y 2,493 m³ en septiembre (Figura 2A). Entre abril y agosto el consumo de agua se mantuvo constante con un promedio de 1.805 m³, seguido de un incremento de 809 m³ en septiembre y a partir de allí un descenso progresivo hasta el final del año. La HH gris de la sede Poblado fue de 33.596 m³ en el año de estudio (Figura 2B), afectada principalmente por el nitrógeno total Kjeldahl (NTK), representando esta variable mayor concentración en comparación con la DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales y fósforo total. Mientras que en marzo y de septiembre a noviembre la HH gris fue superior a los 3.000 m³, en diciembre la huella se

mantuvo por debajo de los 2.000 m³. La HH verde fue de 358 m³, con un promedio de 29.8 m³ para cada mes del año de estudio.

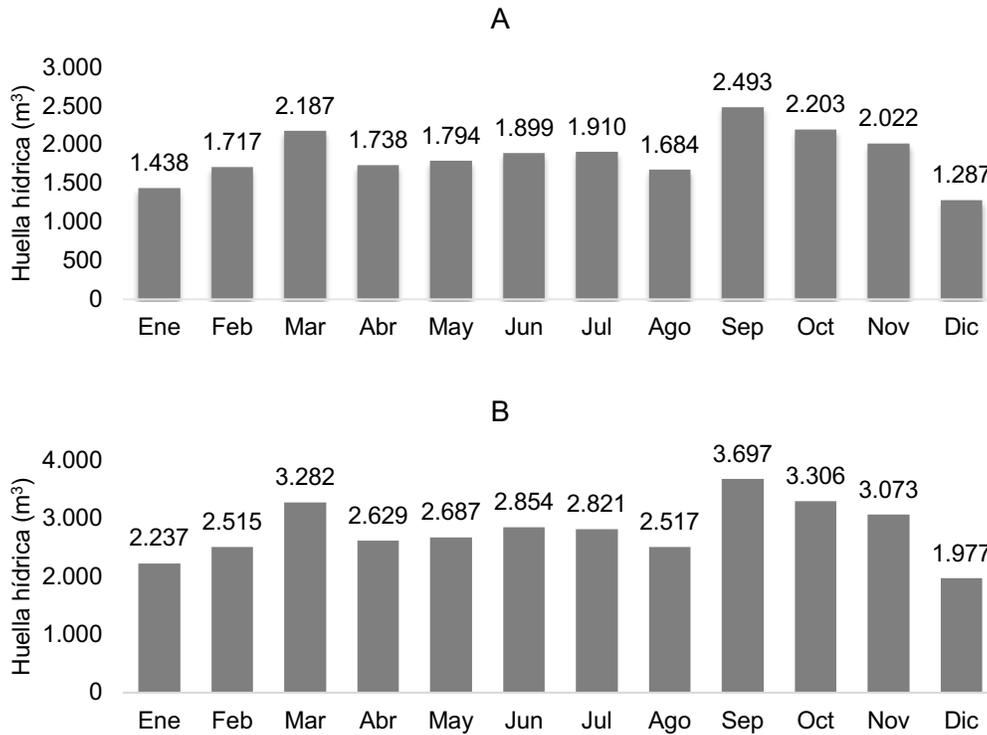


Figura 2. Huella hídrica azul (A) y huella hídrica gris (B) de la Sede Poblado de la Universidad CES en 2022.

Huella hídrica indirecta. Con respecto al comportamiento mensual de la HH indirecta asociada al consumo de energía (Figura 3); febrero con 8.273 m³ es el mes con consumo más bajo, en comparación con septiembre del mismo año con 13.919 m³.

La HH papel higiénico y toallas de mano de la Sede Poblado (Figura 4A) presentó comportamiento fluctuante a lo largo del año, especialmente en septiembre y noviembre cuando la esta huella indirecta ascendió a 38 y 24 m³ respectivamente, mientras que en diciembre no se adquirió papel por lo que este valor fue cero. La HH de papel resma presentó dos picos significativos en abril y en agosto con 5.606 y 2.500 m³ (Figura 4B) por

lo que la huella hídrica de papel también presenta su mayor consumo en el mes de abril con un total de 5.617 m³ (Figura 4C).

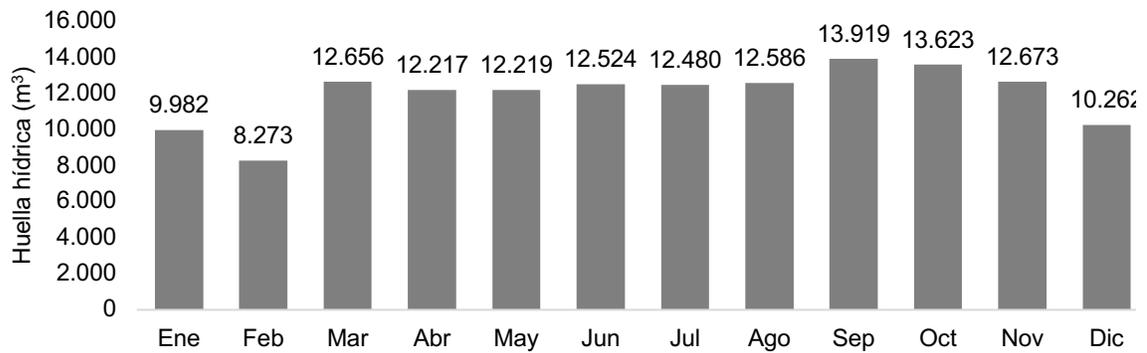


Figura 3. Huella hídrica electricidad.

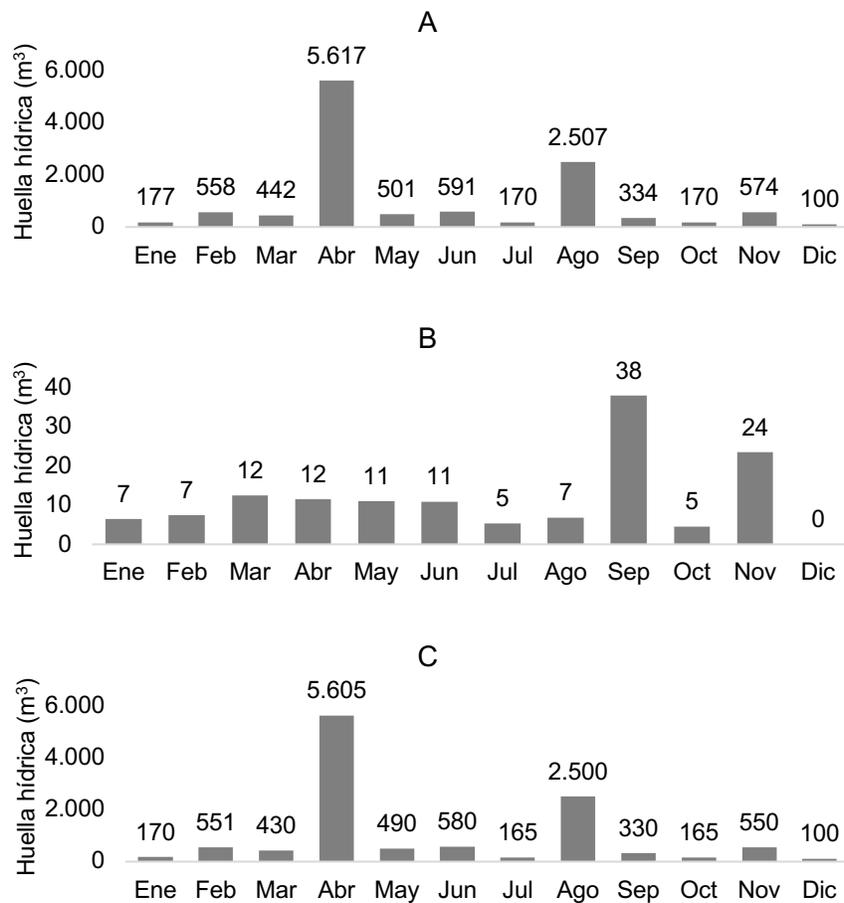


Figura 4. Huella hídrica papel higiénico y toallas de mano (A). Huella hídrica papel resma (B). Huella hídrica total papel (C) de la Sede Poblado de la Universidad CES en 2022.

A partir de los resultados de la huella hídrica, se propusieron algunas estrategias para su reducción (Tabla 1). Para esto, se establecieron medidas que pueden ser aplicadas a corto, mediano y largo plazo (1, 5 y 10 años, respectivamente).

Tabla 1. Alternativas para la reducción de la huella hídrica en la Universidad CES.

Alternativa	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
Agua	Control de perdidas en las redes de distribución de agua en la edificación	Implementar perlizadores de agua en los grifos con el fin de disminuir el caudal	Reuso de aguas grises para los sanitarios
	Riego de plantas y áreas verdes en horas de la mañana o en la noche para reducir la evaporación de agua	Implementar limitadores de descarga en los sanitarios con el fin de disminuir la cantidad empleada por descarga	Planta de tratamiento de aguas residuales
	Promover campañas educativas para el ahorro y uso eficiente del agua	Aumentar la capacidad de almacenamiento de aguas lluvias mediante el suministro de tanques en otras áreas de la Sede Poblado	
		Modificar el modo de riego de las áreas verdes, usando aspersores y goteo	
Energía	Continuar con el cambio de luminarias T5 a LED (ahorradoras y eficientes en el uso de energía)	La sede Poblado cuenta con paneles solares que se espera sean puestos en funcionamiento próximamente, con lo que se reducirá el consumo de energía eléctrica	Revisión general de espacios para incrementar el uso de sensores de presencia que controlen el uso adecuado de la iluminación
	Cambio progresivo a equipos consumo clase A (consumen 50%		

Alternativa	Plazo		
	Corto	Mediano	Largo
	menos de energía que los de consumo medio)		
	Promover campañas educativas para el ahorro y uso eficiente de la energía		Adecuaciones en la planta física para el aprovechamiento de la luz y ventilación natural
	Continuar con el reciclaje del papel y su cadena de distribución		
Papel	Campañas de conciencia para el uso correcto de papel tanto en los baños como oficinas	Implementar un criterio de sostenibilidad para los proveedores	Valerse de los medios digitales para reemplazar el consumo de papel
	Incluir la huella hídrica del cada hoja de papel en los correos electrónicos con frases ecológicas		

Fuente: elaboración propia

4. Discusión

La sede Poblado de la Universidad CES cuenta con un ejercicio preliminar del cálculo de la huella hídrica entre enero y diciembre de 2021 (Universidad CES, 2022), un año atípico debido al confinamiento asociado a la pandemia del COVID-19. Mientras de enero a diciembre de 2022 la huella hídrica alcanzó un total de 211.478 m³, de enero a diciembre de 2021 la huella fue cerca de menos del 30% con un valor de 162.589 m³. Además de las diferencias en la ocupación de la sede en el primer semestre del 2021, es importante resaltar que para el cálculo de la HH directa en el estudio de la Universidad CES (2021) no se consideró la HH verde y la cuantificación de la HH indirecta se fundamentó únicamente en la HH energía (Tabla 1).

Tabla 2. Comparación huella hídrica directa e indirecta (m³) de enero a diciembre de los años 2021 y 2022.

Huella hídrica		2021		2022	
Directa	Azul	13.488		22.372	
	Gris	53.511	66.999	33.596	56.326
	Verde	-		358	
Indirecta	Energía	95.595	95.595	143.413	155.162
	Papel	-		11.749	
Total	-	-	162.594	-	211.488

Fuente: elaboración propia

Tal y como se esperaba, la huella hídrica total aumentó en 48.889 m³ en el 2022, asociado al retorno a la presencialidad de los estudiantes, los docentes y el personal administrativo a las actividades académicas en la institución, además, en este estudio se adicionaron componentes como la HH verde y la HH papel.

Mientras que, de acuerdo con Tuiran et al. (2017), la huella hídrica total de la Universidad de Córdoba en el 2014 fue de 608.674 m³, para la Universidad CES en el 2022 fue considerablemente menor (211.488 m³) con un valor per cápita de 50.7 m³ y 25.3 m³ respectivamente. No obstante, se debe considerar que la comunidad universitaria de la U de Córdoba es 30% mayor en relación con la U CES y qué en dicho estudio se incluyó el cálculo de la huella directa e indirecta asociada a las cafeterías y al cultivo de algodón. Es importante señalar que para la U de Córdoba el 90% (397.908 m³) de la huella hídrica indirecta se asoció a la alimentación de las personas. De acuerdo con esto, la huella hídrica de la Universidad CES puede llegar a ser significativamente superior a la cuantificada en este estudio.

En el cálculo de la huella hídrica directa azul se comprueba que hay un incremento de 8,884 m³ en el año de estudio 2022 en comparación con el periodo de 2021, con una comunidad académica de 8.360 personas, esta fue de 13.488 m³. Ahora bien, el consumo de agua de

la sede Poblado, específicamente para la captación de aguas lluvias y agua superficial puede variar dependiendo de periodos hidrológicos, debido a que durante el período seco la disponibilidad de agua proveniente de la quebrada “La Poblada” y la lluvia se reduce. Adicionalmente, influyen factores externos como el mantenimiento de los tanques y daños en las tuberías de abastecimiento.

El nitrógeno total Kjendahl (NTK) fue el contaminante más representativo en comparación con las otras variables medidas, con una huella gris de 33.596 m³, por lo que es necesario este volumen de agua dulce para asimilar la concentración de NTK y cumplir con los límites estándar de calidad (Pellicer, 2014). Respecto al estudio realizado en 2021, se presentó una disminución de la huella hídrica gris y un cambio en la variable más representativa, dado que en dicho trabajo fueron los sólidos suspendidos totales (SST) con 55.511 m³; esto se debe probablemente a que en 2021 no se realizó la caracterización de la descarga de la universidad, sino que se emplearon las concentraciones medias de ingreso a la PTAR Aguas Claras, reportadas por EPM.

El cálculo de la huella hídrica directa verde es uno de los componentes adicionales de este estudio, por lo que se esperaría que este componente aumente la huella hídrica directa de la institución. No obstante, la HH verde, aportó solo al 1% de la misma, por lo tanto, se considera despreciable en relación con lo reportado en otras universidades en las que su HH verde representa el 6% de la HH total, asociado al cultivos de algodón y otros productos (Tuiran et al., 2017).

Problemas como la falta de eficiencia y ahorro en el consumo del agua se pueden abordar mejor cuando se consideran en la evaluación las cadenas de producción y suministro en conjunto (Hoekstra, 2014). En este estudio se consideró en la huella hídrica indirecta, la HH papel y HH energía, obteniendo valores de 11.740 m³ y 143.413 m³ representando el 73% de la huella hídrica total, por lo que es de importancia resaltar que la cadena de suministro en la institución es mayor que la HH directa. Adicionalmente, se espera que en futuros trabajos se aborde la huella hídrica de las cafeterías que operan en la institución.

En la sede Poblado de la Universidad CES se han implementado diversas estrategias que permitan cumplir con el objetivo de consolidarse como una universidad “verde” en el 2025. Dentro de estas, se destacan el control de pérdidas de agua en la edificación, la implementación de protocolos de desecho en los laboratorios, la mudanza de luminarias T5 a LED, el oportuno mantenimiento de los equipos que requieren consumo de energía (ascensores, electrodomésticos, equipos de bombeo), la separación del material reciclable para su adecuada distribución, el uso de aguas lluvias para la descarga de los sanitarios y el riego de zonas verdes y la instalación de paneles solares (los cuales aún no se encuentran en funcionamiento).

A corto plazo, se sugiere que el riego de plantas y áreas verdes se realice en la mañana o en la noche para reducir la evaporación del agua, promover campañas educativas para el ahorro y uso eficiente del agua, continuar con la implementación y desarrollo de estrategias que actualmente realiza la institución. Además, la sede Poblado cuenta con paneles solares que se espera entren en funcionamiento próximamente, esperando de esta forma reducir el consumo de energía proveniente de las hidroeléctricas.

A mediano plazo, incluir grifos de bajo consumo y sanitarios de alta eficiencia; consideramos que la implementación de perlizadores de agua en los grifos es relevante para aumentar la eficiencia del consumo de agua, pues logra disminuir el caudal, además de considerarse una inversión moderada. Los limitadores de descarga son dispositivos que se conectan a las válvulas de desagüe garantizando la disminución de la cantidad de litros de agua empleada por descarga y/o implementar los inodoros de doble descarga, los cuales emplean menos de 4 L por descarga, en comparación a los 4.8L que se emplean actualmente (Gallego Sánchez-Torij et al., 2020).

En relación al aprovechamiento de aguas lluvias, se sugiere el aumento en la capacidad de almacenamiento de las mismas mediante el suministro de tanques en otras áreas de la sede Poblado. Modificar el modo de riego usando aspersores para las áreas verdes y goteo para las macetas, con el fin de disminuir el agua empleada en el riego, ya que actualmente se realiza con mangueras. Se sugiere además implementar un criterio de sostenibilidad para los proveedores que incluya la huella hídrica como factor de decisión para las compras.

A pesar de que el papel utilizado en la universidad es ecológico, por ende, la materia prima proviene de papel recuperado como revistas, periódicos e impresiones y además, los blanqueadores son libres de cloro, (Zapata, 2011), se desconoce la huella del agua empleada durante la etapa industrial de la producción, por lo tanto, implementar un criterio de sostenibilidad para los proveedores sería una medida de gran ayuda para su reducción.

A largo plazo, se plantea el reuso de aguas grises para los sanitarios con el fin de disminuir el consumo y el impacto sobre el ambiente, reduciendo implícitamente la huella hídrica directa azul e indirecta gris de la sede. Según Vela et al. (1994), es importante realizar una revisión general de espacios para incrementar el uso de sensores de presencia que controlen el uso adecuado de la iluminación y adecuar la planta física, de ser necesario, para el aprovechamiento de la luz y ventilación natural, además, valerse de los medios digitales que reemplacen el papel.

Es fundamental realizar un diagnóstico completo y detallado para controlar las pérdidas de agua en las redes de distribución de la institución, además de un mantenimiento integral. Pese a que los costos de implementación de iluminación LED se consideran altos, con el tiempo se podrán compensar los beneficios que esta tecnología proporciona, como bajar los costos de energía en un 40% (Osorio et al., 2010).

5. Conclusiones

Se determinó la huella hídrica directa e indirecta de la sede Poblado de la Universidad CES y se lograron plantear estrategias para su posible reducción en el corto, mediano y largo plazo. Se concluye que el cálculo de la huella hídrica es de gran importancia porque permite establecer una relación estrecha entre los recursos hídricos y el consumo humano, por medio del volumen de agua que se requiere para los diferentes procesos de producción de bienes y servicios. A su vez, los problemas como la falta de eficiencia y ahorro en el consumo del agua se pueden abordar mejor cuando se consideran en la evaluación las cadenas de producción y suministro en conjunto.

Se resalta la relevancia del uso sostenible del agua dulce para el buen funcionamiento de los ecosistemas, su importancia económica y bienestar social; incentivando a la institución a incluir algunas de las recomendaciones derivadas de esta investigación en su plan de desarrollo.

6. Referencias

- Amórtegui, L. A. S., Vega, D. G., y Rojas, H. R. G. G. (2016). Huella hídrica: Análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos. *Ciencia Nicolaita*, 69, Art. 69. DOI: 10.35830/cn.vi69.342
- Arboleda Tabares, D. A., Reyes Talero, J. E., Quijano Pérez, S. A., & Alvear Rodríguez, C. A. (2022). La Huella Hídrica como estrategia educativa para el consumo responsable del agua en la Universidad Santiago de Cali. *Estudios Pedagógicos*, 48(2), 131–158. <https://doi.org/10.4067/s0718-07052022000200131>
- Billinghurst Vargas, T. K. (2020). Huella hídrica y optimización del consumo de agua en empresas. *Universidad Científica del Sur*. DOI: 10.21142/tb.2020.1404
- Botero, L. A. C. (2020). La paradoja de la disponibilidad de agua de mala calidad en el sector rural colombiano. *Revista de Ingeniería*. DOI: 10.16924/revinge.49.6
- Contreras Tuirán, Y., & Torres Porto, C. M. (2017). Cuantificación de la huella hídrica en las instalaciones de la universidad de córdoba campus montería, para el año 2014. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/471>
- Cortés, F. A., Pérez, M. L., Mogollón, H. M., & González, C. T. (2007). Agua virtual en México. *Tecnología y ciencias del agua*, 22(4), Art. 4.
- Fernandez Scagliusi, M. de los A. (2021). Herramientas para lograr un uso sostenible del agua en la minería: La huella hídrica y la huella de agua. *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 12(1). DOI: 10.17345/rcda2971
- Gallego Sánchez-Torij, J., Larrumbide Gómez-Rubiera, E., & Bedoya Frutos, C. (2020). Metabolismo en los edificios. Estudio de medidas para el ahorro del consumo de agua en tres centros docentes en Madrid. *Informes de la Construcción*, 72(557), 325. DOI: 10.3989/ic.67829

- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y., & Van Der Meer, Th. (2009). The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological Economics*, 68(4), 1052–1060. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.013>
- Hoekstra, A. Y. (2014). Sustainable, efficient, and equitable water use: The three pillars under wise freshwater allocation. *WIREs Water*, 1(1), 31-40. DOI: 10.1002/wat2.1000
- Hoekstra, A. Y. (Ed.). (2011). *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*. Earthscan.
- Hogeboom, R. J. (2020). The Water Footprint Concept and Water's Grand Environmental Challenges. *One Earth*, 2(3), 218–222. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.010>
- IDEAM. (s.f.). Oferta agua. IDEAM. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ofertaagua> consultado: octubre de 2022.
- Loaiza Gómez, P. M., & Quiceno Zuluaga, A. C. (2018). Cálculo de la huella hídrica en universidades caso de estudio Universidad Católica de Manizales, en el marco del Sistema de Gestión ambiental. Universidad Católica de Manizales. <https://repositorio.ucm.edu.co/jspui/handle/10839/2362>
- Manco, V. A. Z. (s. f.). Plan exportador de papel ecológico para el país México. 94.
- Martín, L., & Justo, J. B. (2015). Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. *América latina* <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/37877>
- Naciones Unidas. (s. f.). División de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter18.htm> consultado: octubre de 2022
- ONU. (2020). El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático. Noticias ONU. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732> consultado: octubre del 2022.

- Organization, P. A. H., & Salud, O. P. de la. (1997). Análisis del sector agua potable y saneamiento en Colombia. OPS. Serie Análisis Sectoriales;(11), ago. 1997. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/35693>
- Ortiz Sarango, C. A. (2018). Medición de la huella hídrica de la Universidad Politécnica Salesiana campus Sur. Tesis de licenciatura. Ingeniera ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16078>
- Osorio, J. A. C., Rugeles, V. H. F., & Garzón, H. B. C. (2010). Aplicaciones de iluminación con LEDs. *Scientia Et Technica*, XVI(45), 13-18.
- Pellicer-Martínez, F. (2014). La Evaluación de La Huella Hídrica Gris En Una Demarcación Hidrográfica. In Congreso Nacional Del Medioambiente; Conama: Madrid, Spain (Vol. 26).
- Universidad CES. (2021). Informe de sostenibilidad 2021. <https://www.ces.edu.co/wp-content/uploads/2022/03/Reporte-sostenibilidad-Universidad-CES-2021.pdf>
- Vela, A., Martínez, F., García-Serra, J., & Pérez, R. (1994). Estrategias óptimas para la reducción de pérdidas de agua en sistemas de abastecimiento. *Ingeniería del agua*, 1(1). DOI: 10.4995/ia.1994.2630
- WWF. (2020). Agua disponible en: https://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/ consultado: octubre de 2022
- Zapata Manco, V. A. (2011). Producción y exportación de papel ecológico. Facultad de estudios internacional, Institución universitaria EUSMER, Medellín, Colombia.