



**Cálculo de la huella hídrica en la Universidad de Antioquia, Seccional Oriente, año 2023**

Valentina López Gil

Ximena Sepúlveda Vásquez

Andrés Felipe Zuluaga Castaño

Trabajo de grado para obtener el título de Administrador Ambiental y Sanitario

Asesor

Isabel Cristina Palacio Betancur

Bióloga

PhD en Ciencias

Universidad de Antioquia

Facultad Nacional de Salud Pública

“Héctor Abad Gómez”

El Carmen de Viboral

2024

Cita	(Sepúlveda et al., 2024)
Referencia	Sepúlveda Vásquez, X., Lopez Gil, V., Zuluaga Castaño A. F. (2024). <i>Calculo de la huella hídrica, Universidad de Antioquia, seccional Oriente, 2023</i> . [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, El Carmen de Viboral, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	

---



Asesora de trabajo de grado: Isabel Cristina Palacio Betancur



Biblioteca Seccional Oriente (El Carmen de Viboral)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo de grado a nuestros padres, por su amor incondicional y constante apoyo durante todo este camino académico.

A nuestros profesores, por su guía, enseñanzas y motivación que han sido fundamentales en nuestra formación como profesionales.

A nuestros compañeros de estudio, por compartir con nosotros este trayecto lleno de desafíos y aprendizajes.

A la Universidad de Antioquia seccional Oriente, por ser fuente de inspiración y por recordarnos la importancia de cuidar y conservar nuestro planeta para las generaciones futuras

### **Agradecimientos**

En primer lugar, queremos agradecer a nuestra asesora de grado Isabel Cristina Palacio Betancur, por su orientación, paciencia y dedicación a lo largo de este proceso de investigación. Su experiencia y conocimiento fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo.

Agradecemos sinceramente a todos los miembros de la comunidad universitaria de la Universidad de Antioquia seccional Oriente que participaron en este estudio, ya sea colaborando en la recolección de datos o compartiendo sus experiencias y opiniones. Su participación fue invaluable para enriquecer los resultados y conclusiones de esta investigación.

También queremos expresar nuestra gratitud a nuestros padres, familiares y amigos, por su constante apoyo, comprensión y ánimo durante este proceso académico. Su apoyo emocional fue fundamental para superar los desafíos y obstáculos que surgieron en el camino.

Este trabajo es el resultado del esfuerzo conjunto de muchas personas, a quienes estamos profundamente agradecidos por su contribución y apoyo incondicional

## Tabla de Contenido

Resumen .....	8
Abstract .....	9
Introducción .....	10
1. Planteamiento del problema .....	11
2. Justificación.....	13
3. Objetivos .....	15
3.1. Objetivo general .....	15
3.2. Objetivos específicos.....	15
4. Marcos de referencia .....	16
4.1. Marco teórico .....	16
4.1.1. Huella hídrica .....	16
4.1.2. Gestión del recurso hídrico.....	18
4.1.3. Calidad del agua en Colombia.....	19
4.1.4. Disponibilidad de agua en Colombia .....	20
5. Marco normativo .....	22
5.1. Marco institucional y geográfico.....	23
5.1.1. Seccional Oriente .....	24
6. Metodología.....	28
6.1. Alcance.....	28
6.2. Recopilación de información.....	28
6.3. Cálculo de la huella hídrica .....	31
6.3.1. Huella hídrica directa: .....	31
6.3.2. Huella hídrica indirecta .....	32
6.4. Análisis e interpretación de resultados .....	33
7. Resultados y discusión .....	34
7.1. Resultado de la sistematización de las entrevistas realizadas al personal de la Seccional Oriente. 34	
7.2. Huella hídrica directa .....	38
8. Recomendaciones.....	52

9. Conclusión..... 54

10. Referencias ..... 55

11. Anexos..... 62

### **Lista de figuras**

Figura 1. Mapa de localización del municipio del Carmen de Viboral.....	25
Figura 2. Ubicación Seccional Oriente.....	26
Figura 3. Universidad de Antioquia, Seccional Oriente.....	27
Figura 4. Recolección y sistematización de la información.....	29
Figura 5. Tanque de almacenamiento.....	39
Figura 6. Planta de tratamiento de agua potable.....	39
Figura 7. Jardines Seccional Oriente.....	41
Figura 8. Huella hídrica directa Seccional Oriente UdeA.....	45
Figura 9. Huella hídrica Seccional Oriente 2023.....	48

## Lista de tablas

Tabla 1. Actividades por objetivo .....	30
Tabla 2. Entrevista administrador planta física Seccional Oriente UdeA .....	34
Tabla 3. Entrevistas cafeterías .....	36
Tabla 4. Entrevista personal de aseo .....	37
Tabla 5. Cálculo de la huella hídrica azul .....	38
Tabla 6. Consumo de agua para riego de jardines .....	40
Tabla 7. Parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015 .....	43
Tabla 8. DQO. Salida planta de tratamiento.....	43
Tabla 9. DBO. Salida planta de tratamiento.....	44
Tabla 10. SST. Salida planta de tratamiento .....	44
Tabla 11. Nitrógeno total. Salida planta de tratamiento .....	44
Tabla 12. Fósforo total. Salida planta de tratamiento.....	44
Tabla 13. Consumo de energía año 2023 .....	46
Tabla 14. Consumo de papel año 2023 .....	47
Tabla 15. Comparación huella hídrica universidades.....	49

## Resumen

Este trabajo de grado se enfoca en el cálculo de la huella hídrica, una métrica que cuantifica el uso del agua en procesos productivos y de consumo. La huella hídrica es un indicador esencial para comprender y gestionar los recursos hídricos de manera sostenible. El objetivo principal de esta investigación es evaluar la huella hídrica en la Universidad de Antioquia seccional Oriente para el año 2023, utilizando metodologías cualitativas y cuantitativas basadas en datos primarios y secundarios.

Para llevar a cabo este estudio se utilizó la metodología propuesta por Hoesktra 2011, la cual consiste en evaluar la huella hídrica verde, azul y gris para obtener la huella hídrica total. El análisis de la huella hídrica directa de la Seccional Oriente de la Universidad de Antioquia para el año 2023 revela que el total es de 4399,59 m<sup>3</sup>. De esta cantidad, el 36.8% corresponde a la huella hídrica azul, el 0.7% a la huella hídrica verde, y el 62.4% a la huella hídrica gris.

El cálculo de la huella hídrica en la Universidad de Antioquia surge como una respuesta esencial a los desafíos ambientales y de gestión de recursos que enfrenta la institución. Este esfuerzo no solo proporciona una comprensión detallada del consumo de agua dentro de la universidad, sino que también permite la identificación de áreas críticas para implementar mejoras y desarrollar estrategias efectivas que promuevan un uso responsable del agua y la sostenibilidad ambiental. Integrar esta iniciativa en la cultura universitaria refleja el compromiso de la Universidad de Antioquia con la protección del medio ambiente y su contribución a los objetivos de desarrollo sostenible a nivel local y global.

*Palabras clave: huella hídrica, sostenibilidad, gestión del agua, disponibilidad de agua*



### **Abstract**

This degree work focuses on the calculation of the water footprint, a metric that quantifies the use of water in production and consumption processes. The water footprint is an essential indicator for understanding and managing water resources in a sustainable manner. The main objective of this research is to evaluate the water footprint at the Universidad de Antioquia sectional Oriente by 2023, using qualitative and quantitative methodologies based on primary and secondary data.

To carry out this study, the methodology proposed by Hoesktra 2011 was used, which consists of evaluating the green, blue and grey water footprint to obtain the total water footprint. Analysis of the direct water footprint of the Eastern Branch of the University of Antioquia for 2023 reveals that the total is 4399.59 m<sup>3</sup>. Of this amount, 36.8% corresponds to the blue water footprint, 0.7% to the green water footprint, and 62.4% to the gray water footprint.

The calculation of the water footprint at the University of Antioquia emerges as an essential response to the environmental and resource management challenges facing the institution. This effort not only provides a detailed understanding of water consumption within the university, but also allows the identification of critical areas to implement improvements and develop effective strategies that promote responsible water use and environmental sustainability. Integrating this initiative into university culture reflects the commitment of the University of Antioquia to environmental protection and its contribution to local and global sustainable development goals.

*Keywords: water footprint, sustainability, water management, water availability*

## **Introducción**

La gestión sostenible del agua es un desafío global crucial en el contexto actual del cambio climático y crecimiento poblacional (Organización de la Naciones Unidas, s.f). La evaluación de la huella hídrica surge como una herramienta fundamental para comprender y abordar este desafío, permitiendo cuantificar el volumen total del agua utilizada directa e indirectamente en la producción de bienes y servicios (Hoesktra 2002). En este sentido, el presente estudio se enfoca en determinar el valor de la huella hídrica en la Universidad de Antioquia Seccional Oriente, con el fin de identificar áreas de oportunidad para una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico.

Para lograr este propósito, se plantean objetivos específicos que incluyen identificar las principales fuentes de consumo de agua en la institución, determinar los factores que más contribuyen a la huella hídrica y proponer estrategias para reducir el impacto ambiental asociado al uso del recurso hídrico.

La Universidad de Antioquia, como entidad educativa y generadora de conocimiento, tiene la responsabilidad de liderar iniciativas que promuevan la sostenibilidad ambiental y la conservación de recursos naturales. En este contexto, el presente estudio no solo busca generar conocimiento, sino contribuir así al desarrollo de una cultura del cuidado ambiental en la comunidad universitaria.

## 1. Planteamiento del problema

El agua, esencial para la vida, enfrenta desafíos globales de disponibilidad y gestión (Hogeboom et al., 2020). A pesar de que el 70% de la Tierra está cubierta por agua, solo el 2,5% es agua dulce y menos del 1% está disponible para el consumo humano (WWF, s.f). Colombia, gracias a su ubicación geográfica y diversidad climática, se destaca por su riqueza hídrica, con un rendimiento hídrico de 56 l/s-km<sup>2</sup>, muy por encima del promedio mundial y de Latinoamérica (IDEAM, 2019). Sin embargo, enfrenta problemas comunes de gestión y conservación del agua.

Los estudios sobre la huella hídrica en Colombia han demostrado un impacto significativo de la agricultura, la industria y el consumo doméstico en el uso del agua. El crecimiento urbano y la expansión de las ciudades incrementan la presión sobre los recursos hídricos (ONU, 2020). Problemas como la deforestación y la contaminación agravan la situación, afectando tanto la disponibilidad como la calidad del agua. Aunque se han implementado políticas y programas para una gestión sostenible del agua, persisten desafíos como el acceso limitado a agua potable y la necesidad de mejorar la gobernanza de los recursos hídricos (ONU, 2020).

La investigación sobre la huella hídrica en Colombia se ha centrado en el consumo de agua en sectores como la agricultura y la industria. Arévalo et al. (2011) evaluaron la huella hídrica de varios cultivos en diversas regiones, identificando las prácticas agrícolas con mayor demanda de agua. La industria textil y alimentaria también demanda grandes volúmenes de agua para sus procesos productivos (Montero, 2018).

El crecimiento urbano y la expansión de las ciudades también ejercen presión sobre los recursos hídricos en Colombia. El aumento de la población y la urbanización requieren una mayor infraestructura hídrica, como el suministro de agua potable, el tratamiento de aguas residuales y la construcción de presas y embalses. Estas actividades tienen un impacto directo en la huella hídrica de las áreas urbanas (Hernández et al. 2020)

Es notable la escasez de investigaciones sobre la huella hídrica en instituciones de educación superior en Colombia. Estudios como el realizado en la Universidad Católica de Manizales por Loaiza y Quiceno (2018), y en la Universidad Militar Nueva Granada por Becerra y Urrego (2021), destacan la importancia de calcular la huella hídrica para proponer estrategias que minimicen el consumo de agua.

Según Contreras (2017), en su estudio de cuantificación de la huella hídrica en las instalaciones del Campus Montería de la Universidad de Córdoba para el año 2014, esta universidad se destaca por su elevada demanda de agua y ha sido identificada como un "gran consumidor" por la empresa encargada del suministro de agua y saneamiento. Por esta razón, se convirtió en un objeto de estudio de especial interés.

Con el fin de abordar esta situación, se calculó la huella hídrica en el Campus Universitario mediante la adaptación de la metodología "The Water Footprint Assessment". Este enfoque permitió determinar tanto la huella hídrica directa como la indirecta de los diversos procesos llevados a cabo en la institución. Los resultados mostraron que la huella hídrica directa fue de  $164.963,3 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ , mientras que la huella hídrica indirecta alcanzó los  $443.710,97 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$ . Este análisis permitió identificar los lugares y las cantidades de agua consumida, proporcionando información sobre las causas e impactos de las áreas que generaron mayores gastos. Asimismo, permitió establecer cómo reducir y controlar las presiones sobre este recurso y se sentó una base para la formulación de estrategias que contribuyan a comprender el comportamiento del agua y a mejorar su gestión.

## **2. Justificación**

La gestión adecuada del agua es fundamental dada su importancia vital y su uso en una amplia gama de actividades, desde el ámbito doméstico hasta el agrícola e industrial. En un contexto de crisis global de los recursos hídricos, se hace necesario adoptar prácticas que promuevan su uso sostenible, en concordancia con los objetivos del desarrollo sostenible. La sostenibilidad de los recursos hídricos requiere conservar los ecosistemas acuáticos y administrar eficazmente el agua, lo que incluye medidas como el ahorro y la reutilización.

La huella hídrica proporciona una herramienta valiosa para entender la relación entre la oferta y el consumo de agua, permitiendo una gestión más eficiente del recurso. El cálculo de la huella hídrica en una organización, en este caso en la Universidad, es esencial para identificar áreas críticas en los procesos, lo que facilita la concentración de esfuerzos en la optimización del consumo de agua, promueve una cultura de uso responsable y económica a largo plazo.

Actualmente, la seccional Oriente de la Universidad de Antioquia no cuenta con información sobre su huella hídrica, lo que limita el entendimiento sobre el impacto real del consumo de agua en esta sede. A partir de esta información será posible implementar medidas para el óptimo uso del recurso hídrico y generar, a futuro, estrategias de educación ambiental con la comunidad universitaria sobre el uso racional del agua.

Este trabajo se alinea con la visión y los objetivos institucionales de promover la sostenibilidad ambiental y contribuir a la construcción de un futuro más resiliente y equitativo. A través de este proyecto, se busca no solo generar conocimiento sobre el uso del agua en la universidad, sino también promover prácticas de consumo responsable y sostenible entre toda la comunidad universitaria.

Dentro de la visión de la Universidad de Antioquia como institución pública de educación superior, se plantea que será reconocida a nivel nacional e internacional por su excelencia académica y por su innovación al servicio de la sociedad, de los territorios y de la sostenibilidad ambiental. En el Plan de Desarrollo 2017- 2027 de la Universidad (Acuerdo Superior 444 del 2017) se afirma que la crisis a nivel global exige la integración de una visión ambiental en la cultura universitaria, lo cual implica el fomento de una educación que se comprometa con la construcción de nuevos valores y prácticas en relación con los ecosistemas y estilos de vida coherentes con el reconocimiento de la vida en sus múltiples formas. Se señala que la Universidad está llamada a

vincularse con la agenda global de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. En este sentido, el cálculo de huella hídrica en la Seccional Oriente de la Universidad de Antioquia permitirá promover el consumo responsable y sostenible del recurso hídrico a través de estrategias que incorporen a toda la comunidad universitaria.

El cálculo de la huella hídrica es una herramienta crucial para medir el impacto humano sobre los recursos hídricos y enfrentar estos desafíos, lo cual es fundamental para avanzar hacia una gestión más sostenible del agua en Colombia y en sus instituciones educativas.

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Evaluar la huella hídrica en la Universidad de Antioquia seccional Oriente en el año 2023.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Identificar las principales fuentes de consumo de agua en la Universidad de Antioquia seccional Oriente.
- Determinar los factores que más contribuyen a la huella hídrica de la Universidad de Antioquia seccional Oriente.
- Proponer recomendaciones para optimizar el uso del recurso hídrico y reducir la huella hídrica de la Universidad de Antioquia Seccional Oriente.

## 4. Marcos de referencia

### 4.1. Marco teórico

#### 4.1.1. Huella hídrica

El agua y los recursos hídricos constituyen el eje de cualquier gestión orientada a satisfacer necesidades humanas, mejorar la salud de los ecosistemas, planificar y definir estrategias para garantizar óptimas condiciones de aprovechamiento energético y desde luego, proteger y cuidar la vida como estrategia esencial de la sostenibilidad de los territorios y el planeta en general. (IDEAM 2023)

La huella hídrica, como un indicador ambiental, mide el volumen de agua empleado a lo largo de la cadena productiva de bienes y servicios, proporcionando un marco crítico para evaluar los impactos del uso del agua, incluyendo la escasez hídrica y la degradación de ecosistemas (Greco 2013). A través de su estudio, es posible identificar áreas críticas donde la gestión sostenible del agua puede mitigar efectos adversos, promoviendo un equilibrio entre la satisfacción de necesidades humanas y la conservación ambiental (Hoekstra, & Mekonnen, 2012).

Introducido por Arjen Hoekstra en 2002, el concepto de huella hídrica busca concientizar sobre el volumen significativo de agua requerido por nuestros procesos productivos y estilos de vida. En 2008, el creciente interés por este indicador llevó a Hoekstra a fundar Water Footprint Network, congregando a importantes representantes del sector empresarial, la sociedad civil y la academia. (Hoekstra & Chapagain, 2008).

La huella hídrica se compone de tres elementos:

**Huella hídrica azul:** agua de fuentes superficiales o subterráneas usada en la producción de bienes y servicios, que no retorna a su fuente original. Esto incluye el uso en la agricultura, la industria y el consumo doméstico. La medición de la huella hídrica azul permite a los gestores de recursos hídricos, a las empresas y a los responsables de políticas desarrollar estrategias más eficientes para el uso del agua, así como identificar oportunidades para la reutilización y el tratamiento del agua. (Hoekstra et al. 2021)

**Huella hídrica verde:** agua de lluvia utilizada en el proceso productivo que no se convierte en agua residual, se evapora o es utilizada por las plantas durante su crecimiento. (Rockström, et al 2009).



Huella hídrica gris: volumen de agua necesario para diluir los contaminantes hasta alcanzar niveles aceptables según normativas ambientales, reflejando el impacto de los procesos productivos en la calidad del agua (Hoekstra et al 2011). Estos componentes permiten a los gestores de recursos, empresas y políticos desarrollar estrategias eficientes de uso del agua, identificar oportunidades para su reutilización y tratamiento, y garantizar la protección de ecosistemas acuáticos (Mekonnen, et al. 2011). Este enfoque multidimensional es indispensable para garantizar la seguridad hídrica y la resiliencia de los ecosistemas en el contexto de crecientes desafíos ambientales y socioeconómicos. (Berger, et al. 2013).

La metodología básica de la huella hídrica gira en torno a la cantidad de agua consumida para producir un bien o servicio y el posible efecto sobre el ambiente.

El proceso de Evaluación de la Huella Hídrica incluye varias fases: (Chapagain, et al. 2017).

- Establecimiento de metas y alcance: Identificación de los objetivos y alcance de la evaluación, incluyendo los límites geográficos y temporales.
- Cálculo de la huella hídrica: abarca tanto el uso directo como indirecto de agua a lo largo de la cadena de suministro de un producto o servicio
- Formulación de estrategias: identificación de las acciones estratégicas para reducir la huella hídrica y mejorar la sostenibilidad

Originalmente, el cálculo de la huella hídrica se utilizó para estimar el agua consumida en la producción y consumo de arroz (Chapagain et al. 2011). Sin embargo, con el tiempo, las metodologías han evolucionado para abordar diferentes aspectos del uso y el impacto del agua, incluyendo desde enfoques volumétricos básicos hasta análisis más complejos que consideran el impacto ambiental y emplean tecnologías avanzadas como la teledetección.

De acuerdo con Takawira (2017), la huella hídrica volumétrica es la base de la discusión sobre la huella hídrica introducida inicialmente por Hoekstra y calcula la huella hídrica total (WF<sub>total</sub>) como la suma de la huella hídrica verde, azul, y gris.

Por otro lado, la huella hídrica orientada al impacto incluye metodologías que no solo consideran el volumen de agua utilizado sino también el impacto sobre los recursos hídricos. Dentro de esta categoría, se encuentran varios enfoques:

- Huella hídrica con ponderación de estrés: Modifica la metodología general de la huella hídrica midiendo la escasez de agua en un país y categorizando a un país o sociedad como segura o estresada en términos de agua.
- Huella hídrica y evaluación del ciclo de vida (LCA): Combina la huella hídrica con la evaluación del ciclo de vida, preocupándose por el impacto del uso del agua a lo largo del ciclo de vida de un producto.
- Huella hídrica de costo de oportunidad: Considera la presión de reemplazo sobre los recursos hídricos causada por la búsqueda de fuentes alternativas de agua dulce si su fuente de agua se ve perturbada, desviada o destruida.

Finalmente, la huella hídrica de pronóstico emplea análisis estadísticos para prever la huella hídrica del consumo de diferentes dietas o escenarios futuros, basándose en datos históricos y proyecciones. (Zhang et al 2017).

#### **4.1.2. Gestión del recurso hídrico**

El agua, que cubre el 70% de la superficie terrestre y compone aproximadamente el 70% del cuerpo humano, es esencial para la vida en nuestro planeta. Más allá de su función vital, el agua también juega un papel crucial como agente de cambio y en ocasiones, de destrucción. De hecho, algunos expertos sugieren que, en el futuro, los conflictos por el agua podrían ser más significativos que aquellos relacionados con el petróleo, destacando así su creciente importancia en el ámbito geopolítica (El-Nwsany, et al 2019).

La gestión adecuada de los recursos hídricos es fundamental dentro de la administración ambiental, enfocándose en la conservación, protección, distribución y uso sostenible del agua. Este enfoque busca asegurar la disponibilidad de agua dulce para satisfacer las necesidades humanas y mantener los ecosistemas que dependen de ella (Gleick, 2002). Una gestión eficaz del agua es clave para promover el desarrollo sostenible, garantizar la seguridad alimentaria, soportar la economía global y preservar los sistemas naturales que brindan servicios ecosistémicos esenciales (Bocanegra, 2021).

La salud pública también se beneficia de una gestión adecuada del agua, ya que el acceso a agua potable y saneamiento es esencial para prevenir enfermedades y mejorar la calidad de vida. La eficiencia en la gestión del agua no solo reduce la incidencia de enfermedades relacionadas con el

agua, sino que también fomenta una distribución equitativa del recurso, crucial para reducir la desigualdad social y garantizar que todas las comunidades tengan acceso a este recurso vital (UNESCO, 2021).

No obstante, la gestión del agua enfrenta desafíos significativos debido al cambio climático, que altera los patrones de precipitación y disponibilidad del agua, exacerbando la escasez en algunas regiones y aumentando las inundaciones en otras. El crecimiento poblacional y la urbanización incrementan la presión sobre las fuentes de agua disponibles, complicando su gestión. Además, la contaminación y la sobreexplotación de acuíferos deterioran la calidad del agua y limitan su disponibilidad, tanto para el consumo humano como para los ecosistemas, poniendo en riesgo la sostenibilidad a largo plazo de este recurso vital (Vorosmarty, et al., 2000).

#### **4.1.3. Calidad del agua en Colombia**

La calidad del agua se define por sus características químicas, físicas y biológicas, las cuales se evalúan según su uso específico, como consumo humano, recreación, irrigación y pesca, entre otros (AQUAE, s.f). Según UNESCO/WHO/UNEP (1992), esta evaluación incluye considerar la calidad natural del agua, los efectos de las actividades humanas y los requerimientos del uso previsto.

Los parámetros comúnmente evaluados en la calidad del agua incluyen la presencia de contaminantes químicos, como metales pesados y pesticidas, la turbidez, el pH, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO) y la presencia de microorganismos patógenos. Las metodologías para estas evaluaciones pueden variar dependiendo de los objetivos del estudio, la disponibilidad de recursos y las regulaciones locales (Torres, P., et al., 2009).

El deterioro de la calidad del agua es una preocupación global, atribuido a actividades como la deforestación, la minería, y la expansión urbana, que afectan la disponibilidad y la calidad del agua. Este deterioro también está vinculado a la falta de gestión adecuada y la contaminación generada por diversos sectores (PNUMA, 2003).

Una mala calidad del agua puede resultar en una variedad de impactos negativos en la salud pública, desde enfermedades transmitidas por el agua hasta efectos a largo plazo como problemas de desarrollo infantil y trastornos mentales (WHO, 2019). El consumo de agua con presencia de microorganismos patógenos puede provocar enfermedades como hepatitis A y gastroenteritis. La

exposición crónica a contaminantes químicos en el agua, como metales pesados, productos químicos industriales y pesticidas, puede aumentar el riesgo de desarrollar enfermedades crónicas como cáncer y problemas reproductivos. Adicionalmente, la falta de acceso a agua potable segura y saneamiento adecuado puede aumentar la carga emocional y psicológica de las comunidades afectadas, lo que puede tener efectos negativos en la salud mental y el bienestar psicosocial de las personas. (WHO, 2019).

Sánchez-Triana et al. (2007) estimaron que el costo social derivado de enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada podría ascender al 2,8% del PIB en Colombia. Adicionalmente, un análisis en Colombia reveló que una gran mayoría de los municipios no proveen agua de calidad adecuada para el consumo humano (Correa Assmus, 2022). El Índice de Riesgo de Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) presenta cifras alarmantes: solo el 3 % de los municipios ofrece agua apta para el consumo, mientras que el 6 % presenta un riesgo medio, el 73 % no es apta y el 18 % restante representa un alto riesgo para la salud. De acuerdo con el Banco Mundial (2020) entre 11,8 y 19 millones de personas en Colombia están expuestas a riesgos muy altos por la mala calidad del agua.

Por otro lado, el 43 % de los vertimientos de aguas servidas en el país no cuentan con un plan de saneamiento y el 57 % restante genera lodos residuales contaminados, los cuales tampoco reciben tratamiento adecuado. A nivel nacional, el Índice de Calidad del Agua (ICA) muestra que el sector industrial es el mayor contribuyente de carga orgánica que se descarga a los cuerpos de agua, por encima del sector agrícola y doméstico (Correa Assmus, 2022).

Estos desafíos subrayan la urgencia de implementar planes de saneamiento efectivos y de mejorar la gobernanza y la gestión de los recursos hídricos para proteger la salud pública y los ecosistemas acuáticos.

#### **4.1.4. Disponibilidad de agua en Colombia**

Debido a su ubicación geográfica, la diversidad de su relieve y su variedad climática, Colombia es uno de los países más ricos en recursos hídricos del mundo. Esta abundancia se refleja en la vasta red de cuerpos de agua distribuidos a lo largo del país, incluyendo dos océanos: el Pacífico y el Atlántico, este último delimitado por el mar Caribe. Según el IDEAM (2022), Colombia se destaca a nivel global por su alta escurrentía, con un volumen anual de 1963 km<sup>3</sup> de agua, y un rendimiento

de 56,2 l/s/km<sup>2</sup>, significativamente superior al promedio mundial de 10 l/s/km<sup>2</sup> y al latinoamericano de 21 l/s/km<sup>2</sup>. El país también alberga grandes volúmenes de agua en diversos cuerpos lénticos, como ciénagas, embalses, lagunas y pantanos.

A pesar de esta riqueza hídrica, los recursos de agua en Colombia no son inagotables ni permanentes. Las variaciones anuales y estacionales en las precipitaciones, exacerbadas por fenómenos climáticos como El Niño y La Niña y amplificadas por el cambio climático, están aumentando la frecuencia y magnitud de inundaciones y sequías. Este desbalance entre la disponibilidad y la demanda de agua está exacerbando la inseguridad hídrica, especialmente en zonas urbanas y costeras como Santa Marta y Riohacha, donde más de un tercio de la población ya experimenta estrés hídrico (Banco Mundial, 2020).

En las últimas dos décadas, el caudal de las principales cuencas hidrográficas de Colombia ha disminuido, afectando la disponibilidad de agua para aproximadamente 391 municipios (IDEAM, 2018). En particular, el oriente antioqueño ha visto un crecimiento poblacional que ha incrementado la demanda de agua, llevando a racionamientos en algunos sectores de Rionegro debido a la incapacidad de los acueductos veredales de satisfacer plenamente esta demanda.

Para enfrentar la escasez de agua y reducir el número de afectados, es crucial promover el uso eficiente del agua en todos los sectores del país.

### 5. Marco normativo

A continuación, se presentan las leyes y normativas vigentes que regulan el uso del agua y apoyan en la medición de la huella hídrica:

<b>LEY</b>	<b>Objeto</b>
Constitución política de Colombia	Artículo 79
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 0811 de 2008	Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.
Resolución 082 de 2009	Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano
Decreto 3930 de 2010	Establece las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados.
Decreto 4728 de 2010	Fijación de la norma de vertimiento. El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial fijará los parámetros y los límites máximos permisibles de los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillado público y al suelo.
Sentencia T-740/11	Derecho fundamental al agua

ISO 14046:2014	Esta es la norma internacional que especificará los principios, los requisitos y Guía para la evaluación y generación de informes sobre la huella hídrica. Se aplica a productos, procesos y organizaciones basados en evaluaciones de sus ciclos de vida. La norma ISO 14046 proporciona los requisitos y la guía para el cálculo y la generación de informes de la huella hídrica como auditoría individual, o como parte de una auditoría medioambiental más amplia.
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Resolución 0631 de 2015	Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones
Resolución 0622 de 2020	Por la cual se adopta el protocolo de inspección, vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano suministrada por personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zona rural y se dictan otras disposiciones.

### 5.1. Marco institucional y geográfico

La Universidad de Antioquia es una Institución de educación superior, organizada como un ente universitario autónomo con régimen especial, vinculada al Ministerio de Educación Nacional; goza de personería jurídica, autonomías académica, administrativa, financiera y presupuestal, y gobierno, rentas y patrimonio propios e independientes; se rige por la Constitución Política, la Ley 30 de 1992, las demás disposiciones que le sean aplicables de acuerdo con su régimen especial y las normas internas dictadas en ejercicio de su autonomía. (Universidad de Antioquia, s.f)

La Universidad tiene por objeto la búsqueda, desarrollo y difusión del conocimiento en los campos de las humanidades, la ciencia, las artes, la filosofía, la técnica y la tecnología, mediante las actividades de investigación, docencia y extensión, realizadas en los programas de educación superior de pregrado y de posgrado con metodologías presencial, semipresencial, abierta y a distancia, puestas al servicio de una concepción integral de hombre. (UdeA, s.f)

En la actualidad la Universidad cuenta con cinco seccionales que prestan servicio a las comunidades de Urabá, Bajo Cauca, Magdalena Medio, Oriente y Suroeste antioqueños, así como siete sedes municipales en Occidente, Norte y Nordeste.

### **5.1.1. Seccional Oriente**

Debido a la necesidad de ampliar la oferta académica y la demanda por parte de la población, la Universidad decidió crear un espacio en El Carmen de Viboral. En el año 2003, la Universidad Antonio Nariño le hizo entrega de sus instalaciones a la Alma Máter, constituyéndose como la Universidad de Antioquia - Seccional Oriente. (UdeA, s.f). Dentro del campus de Oriente se lleva a cabo uno de los proyectos más ambiciosos de esta casa de estudios, la construcción de la Ciudadela Universitaria del Siglo XXI. Desde allí se adelantan programas de formación en pregrado y posgrado, se realizan actividades de extensión y de proyección social y se desarrollan proyectos de investigación e innovación tecnológica y social. (UdeA, s.f).

El Alma Mater inició actividades en esta región con el proyecto UNI desde 1993, en alianza con la comunidad y la administración municipal de Rionegro y con el apoyo financiero de la Fundación Kellogg's. En 1998, se inauguró en Rionegro la sede Oriente con la oferta de dos programas de posgrado y en el 2000, el Ministerio de Educación Nacional le otorgó el carácter de Seccional, después de una evaluación de su proyección y crecimiento. (UdeA, s.f).

La seccional cuenta con 22 laboratorios amoblados y siete dotados. Los laboratorios prestan servicios a todas las dependencias que ofrecen programas académicos en la región. (UdeA, s.f).

Los bloques de laboratorios ocupan 7.800 m<sup>2</sup> en tres módulos, de tres pisos cada uno. El primero comprende los espacios para Ciencias Básicas y Ciencias Alimentarias, el segundo alberga laboratorios especializados de Ingeniería y en el tercero (Módulo Técnico), oficinas, cuartos técnicos y de servicios comunes. (UdeA, s.f).

La capacidad de los laboratorios para los estudiantes

Básicos: 18 estudiantes

Aplicados: 10 estudiantes

Especializados: 24 estudiantes



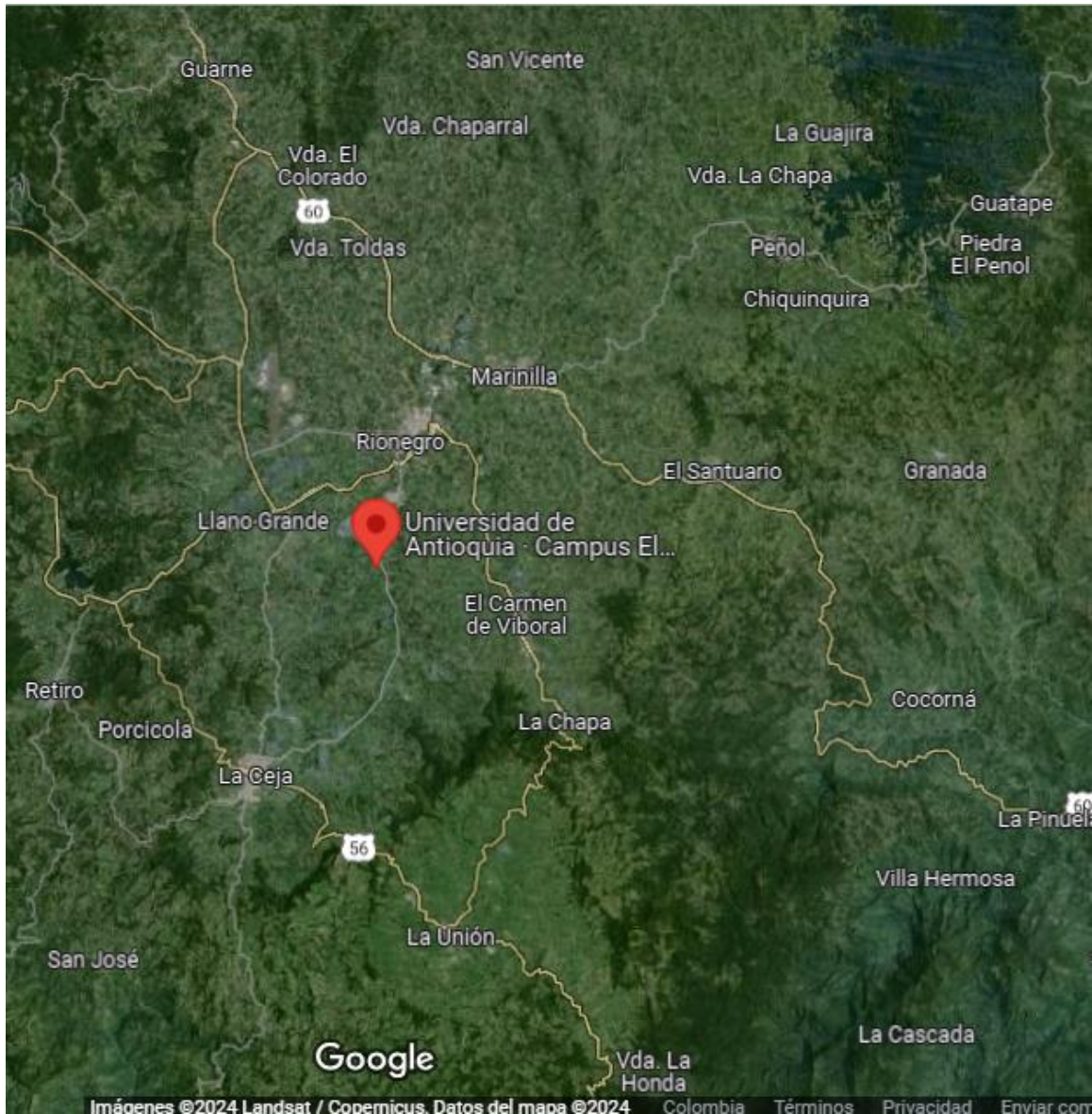
Para el periodo de 2023 la seccional Oriente conto con 2100 estudiantes matriculados por semestre, además la universidad cuenta con 90 empleados. (Entrevistas)

La Seccional Oriente cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), en esta se trata agua lluvia principalmente y agua de un pozo profundo del cual se abastece la Universidad, la seccional también cuenta con abastecimiento del acueducto El Capiro, pero este solo es usado por la universidad en épocas de contingencia. También cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR). (Entrevistas)



**Figura 1.** Mapa de localización del municipio del Carmen de Viboral

Fuente: Cornare



**Figura 2. Ubicación Seccional Oriente**

Fuente: Google Maps



**Figura 3.** Universidad de Antioquia, Seccional Oriente

Fuente: Pagina web Universidad de Antioquia

La principal fuente hídrica adyacente a la seccional es la quebrada La Pereira, situada dentro de la jurisdicción del municipio de La Ceja del Tambo, al suroriente del departamento de Antioquia, en la subregión Valle de San Nicolás, a una altura sobre el nivel del mar de 2200 m, y con una temperatura promedio de 16°C.

La cuenca de la quebrada La Pereira tiene un área aproximada de 2474.82 hectáreas, lo cual representa el 18.68% del territorio municipal y hace parte del dominio hidrográfico del valle del municipio, conformando la cuenca alta del río Negro-Nare. (Cornare, 2006).

## **6. Metodología**

Dentro de la implementación de algunas de las estrategias y acciones contempladas en el Plan de Desarrollo Institucional 2015-2027 y en el Plan de Acción 2021-2024, la Universidad de Antioquia tiene como uno de los temas estratégicos las contribuciones a la gestión ambiental y la biodiversidad: *“Para 2027 la Universidad de Antioquia será referente nacional en gestión del ambiente y de la biodiversidad porque implementará una política ambiental; y porque consolidará una ética y una cultura universitarias que contribuyan a la responsabilidad ambiental en los territorios y en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”*

Dentro de este objetivo, la seccional Oriente de la Universidad de Antioquia debe adoptar prácticas ambientales sostenibles que permitan aportar a esta estrategia universitaria. Esta ciudadela se encuentra en un entorno campestre, donde se provee a la comunidad educativa los espacios y recursos necesarios para el correcto desarrollo de la vida universitaria. La sede cuenta con aulas de clase, salas de reuniones, oficinas, auditorio, biblioteca, salas de cómputo y de vídeo conferencia, zona de comidas, zonas deportivas, estacionamiento. Adicionalmente, hay 22 laboratorios amoblados y 7 dotados, los cuales ocupan 7.800 m<sup>2</sup> en tres módulos (UdeA, s.f). Dentro de la Institución, se adelantan programas de formación en pregrado y posgrado con cerca de 2.100 estudiantes y 90 empleados (Comunicación verbal con el administrador de la planta física) y se desarrollan actividades de extensión, investigación e innovación tecnológica y social.

### **6.1. Alcance**

El alcance de este proyecto es determinar la huella hídrica (HH) directa e indirecta de la Universidad de Antioquia seccional Oriente a través de la información disponible, entre enero y diciembre de 2023. Adicionalmente, se pretende que este trabajo sea una guía para replicar este ejercicio en otras seccionales regionales de la Universidad de Antioquia.

### **6.2. Recopilación de información**

La mayoría de la información necesaria para calcular la huella hídrica de la Seccional Oriente se obtuvo mediante entrevistas realizadas al personal administrativo, de cafeterías y servicios generales (figura 2).

Los criterios para realizar las entrevistas al administrador de la planta física se basaron en que esta persona posee todo el conocimiento sobre el manejo de la Seccional Oriente. De manera similar,

se entrevistó a la persona responsable de operar la PTAP y la PTAR. Dado que la seccional cuenta con solo dos cafeterías, se entrevistó a los encargados de ambas para obtener información completa. Además, se entrevistó a tres miembros del personal de aseo que desempeñan sus labores en los tres bloques principales de la seccional.



**Figura 4.** Recolección y sistematización de la información

Las preguntas de la entrevista dirigidas al personal seleccionado fueron tanto abiertas, como específicas, centradas en el contexto del uso del agua. Esto permitió que los entrevistados proporcionaran detalles sobre prácticas, percepciones y posibles áreas de mejora en la gestión del agua. Se prestó especial atención a identificar fuentes de consumo directo e indirecto de agua, así como prácticas que contribuyen a la huella hídrica azul, verde y gris.

Se llevaron a cabo un total de seis entrevistas, incluyendo al administrador de la planta física, dos empleados de las cafeterías y tres miembros del equipo de la empresa de aseo.

Para las entrevistas se tuvieron en cuenta aspectos éticos, asegurando la confidencialidad y el consentimiento informado de todos los participantes.

La información sobre el consumo de energía fue extraída de las facturas de servicios públicos, las cuales fueron facilitadas por la Oficina Central de la División de Infraestructura Física de la Universidad de Antioquia, el consumo de papel higiénico y papel de manos fue suministrado por la administración de la Seccional Oriente. En cuanto a la huella azul, se recopiló información mediante encuestas sobre el promedio del consumo de agua, dado que la Seccional solo recurre al acueducto "El Capiro" en situaciones de contingencia. Esto se debe a que la seccional se abastece principalmente de agua lluvia y agua del pozo profundo que se encuentra en la Universidad.

En la Tabla 1 se detallan las actividades realizadas para dar respuesta a cada uno de los objetivos planteados

**Tabla 1.** Actividades por objetivo

<b>Objetivo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Instrumento de recolección</b>
1. Identificar las principales fuentes de consumo de agua en la Universidad de Antioquia Seccional Oriente.	Revisión de documentos	Reunión con personal administrativo
	Aplicación de entrevistas	Entrevistas estructuradas para recolectar la información
	Inspección de instalaciones	Visita en la Seccional Oriente
2. Determinar los factores que más contribuyen a la huella hídrica de la universidad	Análisis del consumo de agua	Aplicación de las fórmulas para el cálculo de la huella hídrica: azul, verde y gris
	Análisis del riego y mantenimiento de zonas verdes	
3. Proponer recomendaciones para optimizar el uso del recurso hídrico y reducir la huella hídrica de la Universidad de Antioquia Seccional Oriente.	Sección de recomendaciones	No aplica

### **6.3. Cálculo de la huella hídrica**

Se calculó la huella hídrica utilizando la metodología desarrollada por Hoekstra et al. (2021) para aguas de uso doméstico de la huella hídrica de una empresa, con ajustes específicos para adaptarla al contexto de este estudio.

#### **6.3.1. Huella hídrica directa:**

La huella hídrica directa fue calculada teniendo en cuenta los datos obtenidos de la HH azul, HH verde y HH gris utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{HH directa} = \text{HH azul} + \text{HH verde} + \text{HH gris} \text{ (m}^3\text{año}^{-1}\text{)}$$

#### **Huella hídrica azul:**

La fórmula para el cálculo de la huella hídrica azul es la siguiente:

$$\text{HH azul} = \text{agua captada} + \text{agua evaporada} \text{ (m}^3\text{año}^{-1}\text{)}$$

Donde:

Agua captada = consumo de aguas lluvias y agua captada del pozo (potabilizadas)

Agua evaporada = suma del agua evaporada proveniente de la captación de aguas lluvias y agua superficial (pozo Seccional Oriente).

#### **Huella hídrica verde:**

Se estimó el consumo de riego mensual para los jardines, que tienen una superficie de 161,86 m<sup>2</sup>. Para este cálculo se tuvo en cuenta la frecuencia de riego (2 veces por semana) y los metros cuadrados. Debido a que no se conoce la cantidad de agua que es utilizada para el riego de jardines en la Seccional Oriente, fue necesario hacer un cálculo aproximado usando el módulo de consumo promedio para riego de jardines con pistola de la Guía Metodológica para Determinar Módulos de Consumo y Factores de Vertimientos de Agua (AMVA, 2010).

$$\text{HH verde} = \text{consumo área externa} \text{ (m}^3\text{/año)}$$

Donde:

Consumo área externa = agua empleada para riego de jardines (161,86 m<sup>2</sup>)

### **Huella hídrica gris.**

Evalúa la cantidad de agua necesaria para diluir la contaminación generada en la seccional por la descarga de aguas residuales.

Para el cálculo de la huella hídrica gris se tomaron los valores promedios de la demanda química de oxígeno (DQO), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST), nitrógeno total (N total) y fósforo total (P total) cuantificados por el laboratorio GIGA de la Universidad de Antioquia para la Seccional Oriente en octubre de 2022. A pesar de que el año base de este trabajo es 2023, no fue posible tener resultados de análisis fisicoquímicos para este periodo.

$$HH \text{ Gris} = \frac{Q_{sal} * C_{sal} - Q_{abs} * C_{act}}{C_{max} - C_{nat}}$$

Donde:

$Q_{sal}$  = caudal del vertimiento ( $m^3/mes$ )

$C_{sal}$  = concentración del contaminante en el vertimiento (mg/L)

$Q_{abs}$  = caudal de entrada ( $m^3/mes$ )

$C_{act}$  = concentración real del contaminante en la entrada (mg/L)

$C_{max}$  = concentración del contaminante máxima aceptable en el cuerpo de agua receptor basado en los objetivos de calidad (mg/L)

$C_{nat}$  = concentración del contaminante en el cuerpo de agua receptor sin perturbación humana en la cuenca (mg/L)

### **6.3.2. Huella hídrica indirecta**

#### **Huella hídrica papel**

Los datos del consumo de papel higiénico y toallas de mano fueron proporcionados por el área administrativa. Sin embargo, no se pudo acceder a la información sobre la cantidad de resmas de papel utilizadas en la seccional debido a que esta información no fue suministrada por el área



encargada, lo que resultará en una estimación subvalorada de la huella hídrica del papel debido a la falta de estos datos.

HH papel= consumo de papel (rollos) \* factor de conversión (m<sup>3</sup>/año)

Donde:

Consumo de papel = suma de HH papel higiénico y toallas de mano (m<sup>3</sup>/año)

Factor de conversión = 10L/rollo. El valor del factor de conversión fue tomado de Salas (2023).

### **Huella hídrica electricidad**

Para el cálculo de la HH de electricidad se siguió la metodología planteada por Ortiz Sarango (2018) para el cálculo de la HH de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito. Los valores de consumo de energía eléctrica fueron tomados de las facturas de la Empresa de Servicios Públicos de Medellín (EPM).

HH electricidad = consumo eléctrico \* factor de conversión (m<sup>3</sup>/GJ)

Donde:

Consumo eléctrico = consumo de energía eléctrica (kWh/mes)

Factor de conversión = 22,3 m<sup>3</sup>/GJ., tomado de Castillo M (2017), citado en Ortiz Sarango (2018). Este factor es un indicador del volumen de agua consumida por energía generada por tipo de tecnología, en este caso es energía hidráulica.

### **6.4. Análisis e interpretación de resultados**

Una vez calculada la huella hídrica, se procede al análisis de los resultados. Se identifican las áreas donde la gestión del recurso hídrico podría mejorar y se hacen algunas recomendaciones para lograr disminuir la huella hídrica de la Seccional Oriente de la Universidad de Antioquia.

## 7. Resultados y discusión

### 7.1. Resultado de la sistematización de las entrevistas realizadas al personal de la Seccional Oriente.

Como se observa en la tabla 2, dentro de la información suministrada por el administrador de la planta física, las aguas lluvias corresponden al 90% del total del consumo de agua potable de la institución. Estas aguas, que provienen de techos y sumideros, al igual que el agua proveniente del pozo (10%) son tratadas y potabilizadas en la planta de tratamiento de agua de la Seccional Oriente. El tratamiento del agua incluye procesos fisicoquímicos como oxidación, floculación y clorado para que el agua pueda ser distribuida con la calidad específica para este uso.

El consumo promedio de agua en el campus se estima en alrededor de 30 m<sup>3</sup> diarios, equivalentes a 900 m<sup>3</sup> mensuales. Esta cifra se calcula a partir del consumo registrado en los tanques de almacenamiento, debido a la ausencia de medidores de consumo de agua en la institución.

**Tabla 2.** Entrevista administrador planta física Seccional Oriente UdeA

Pregunta	Respuesta
¿Cuál es el consumo promedio mensual de agua potable en la seccional?	900 m <sup>3</sup>
¿Cuál es el consumo promedio mensual de energía en la seccional?	No manejan esta información en la seccional
¿Cuántos estudiantes hay matriculados por semestre?	2100
¿Cuántos empleados trabajan en la seccional?	90
¿En la seccional utilizan el agua lluvia? Que cantidad utilizan y con qué fin	90% del suministro de agua es lluvia
¿Cada cuánto realizan muestreo de agua residual?	Cada año
¿Cuál es el volumen de los tanques?	Agua potable en la MAP: 120m <sup>3</sup>
¿Cuál es el cambio de agua en los tanques durante épocas secas o de lluvia?	En las temporadas secas del agua y de lluvia se evita utilizar la primera salida se realiza el mismo tratamiento
Cuando se presentan daños en las tuberías, ¿Cuánto tiempo tardan en dar solución?	Depende el daño, entre un día y 2 semanas.
¿Qué fuente abastece el pozo de agua?	

11. La Universidad de Antioquia seccional Oriente, ¿cuenta con permiso de concesión de aguas subterráneas?	En este momento está en renovación
--	------------------------------------

<b>Observaciones:</b>
El agua del pozo profundo solo se usa cuando no hay lluvias, pues la principal fuente de agua para consumo es el agua lluvia.
El consumo promedio de agua en el Campus El Carmen de Viboral es de aproximadamente 30 metros cúbicos por día.
No hay medidores para tomar una medida exacta del consumo de agua por lo que calcula con base en el tiempo de consumo de los tanques de almacenamiento.
Teniendo en cuenta que son cerca de 900 m <sup>3</sup> de agua que se consumen al mes y que en épocas de lluvia (cuando no es tiempo de vacaciones) el consumo del pozo puede bajar a cerca de 100 m <sup>3</sup> , se puede concluir que el porcentaje de abastecimiento de agua como fuente de agua lluvia puede llegar hasta el 89%.

La información suministrada por el personal de cafetería da cuenta del bajo conocimiento que se tiene dentro sobre el uso y consumo del agua. Como se evidencia en la tabla 3, las diferencias entre consumo de agua para preparación de alimentos, café y limpieza son importantes, a pesar de la diferencia entre la dinámica de cada una de las cafeterías.

Se ha informado que la limpieza de utensilios y elementos que se utilizan diariamente en la cocina, son una de las actividades donde más se desecha agua y contribuye de manera importante a la huella hídrica gris (García, Santana. 2013). Sin embargo, en la cafetería 1 el mayor consumo se da en la preparación del café y en la cafetería 2 se utilizan aproximadamente 90 L para la preparación de los alimentos.

**Tabla 3.** Entrevistas cafeterías

Preguntas	Cafeteria 1	Cafeteria 2
¿Cuántos litros de agua utilizan diariamente para preparar café?	30 litros	10 Litros
¿Cuánta agua utilizan aproximadamente diariamente para la limpieza de utensilios, máquinas y áreas de trabajo?	20 litros	40-50 litros aproximadamente
¿Cuánta agua se utiliza para la preparación de alimentos?	6 litros	80-90 litros aproximadamente
¿Utilizan sistemas de reutilización de agua en la cocina?	No	No
¿De dónde obtienen el suministro de agua para la cafetería?	Tanques de la universidad	Tanques de la universidad
¿El personal recibe capacitación sobre el uso eficiente del agua en la cafetería?	No	Si, medición de Ph y cloro, cantidad de cloro en la tabla
¿Se promueve el ahorro de agua, el reciclaje, la separación de los residuos entre los clientes?	Si, separación de botellas y cartón	Si, separación de todos los residuos aprovechables
¿Se lleva un registro del consumo de agua en la cafetería?	No	No
¿Han implementado alguna medida específica para reducir el consumo de agua en la cafetería?	No	Control en la cantidad para consumir

El personal de aseo es muy consciente de la importancia de la conservación del agua y cuáles podrían ser las metodologías que podrían ser usadas para el uso eficiente del recurso hídrico. Como se observa en la tabla 4, solo una de las personas del aseo ha recibido capacitación sobre reducción del consumo de agua en las tareas que desarrolla dentro de la institución

Las prácticas de conservación de agua por parte del personal de aseo son fundamentales para el ahorro del recurso y pueden ser de gran ayuda para educar a otros empleados y fomentar una cultura de sostenibilidad en la institución.

**Tabla 4.** Entrevista personal de aseo

<b>Personal de aseo</b>	<b>Persona 1 Aseo Cafetería</b>	<b>Persona 2 Bloque 2 P2</b>	<b>Persona 3</b>
1. ¿Qué equipos o herramientas utiliza en las tareas de limpieza que requieren agua? (Especificar tipo de equipos y su uso)	Trapeador, limpión	Trapeador: para escalas y salones Limpión: para tableros y mesas	Hidrolavadora: Lavar andenes y escalas Manguera: Lavar ventanas
2. ¿Tiene una estimación aproximada del consumo de agua en la limpieza de áreas específicas de la universidad? (Especificar si conoces cifras aproximadas)	5 baldes de agua por día	8 -10 baldes aproximadamente por día	6 baldes diariamente
3. ¿Tiene conciencia de la importancia de la conservación del agua en el contexto de la sede universidad y la región?	Si	Si, sin agua no hay vida	Su uso eficiente y evitar su desperdicio, es esencial para que tengamos agua adecuada hoy y en el futuro
5. ¿Ha recibido capacitación o información sobre cómo reducir el consumo de agua en tus tareas de limpieza? (Especificar si ha habido capacitación relacionada)	Si, uso eficiente y cuidado del agua	No	No
7. ¿Tiene alguna sugerencia o idea para reducir el consumo de agua en las tareas de limpieza? (Especificar cualquier recomendación)	Utilizar más los baldes y no utilizar o lavar con el grifo abierto	La reutilización del agua	La idea mía es que debemos recoger el agua lluvia para regar el jardín y lavar corredores
8. ¿Cree que sería beneficioso utilizar productos de limpieza más eficientes en términos de consumo de agua?	Sí, porque ahorraríamos más agua	Si	Si
11. ¿Hay algo más que quiera agregar o que considere importante en relación con el uso del agua en sus tareas de limpieza en la universidad?	Tener más conciencia del recurso y tratar de no usar demasiada agua, solo la necesaria	No	Nos deberían de dar capacitaciones sobre reciclar el agua y el uso
12. ¿Utiliza agua lluvia para realizar su trabajo?	Si	Si, para aseo	No

13. ¿Tiene conocimiento si Reciclan el agua?	Si, las aguas lluvias	Si, va a la planta y luego regresa tratada	Si
14. Cuando se presentan daños en las tuberías, ¿las reporta a la persona o grupo encargado? ¿Cuánto tardan en dar solución?	Si, de inmediato	Si, de inmediato	Si, inmediatamente

## 7.2. Huella hídrica directa

### Huella hídrica azul

**Tabla 5.** Cálculo de la huella hídrica azul

Mes (año 2023)	Agua lluvia (m <sup>3</sup> /mes)	Agua pozo (m <sup>3</sup> /mes)	Total captada (m <sup>3</sup> /mes)	Vertimiento (m <sup>3</sup> /mes) domestica no tratada	Agua evaporada (m <sup>3</sup> /mes)	Huella Hídrica Azul
Enero	810	90	900	765	135	135
Febrero	810	90	900	765	135	135
Marzo	810	90	900	765	135	135
Abril	810	90	900	765	135	135
Mayo	810	90	900	765	135	135
Junio	810	90	900	765	135	135
Julio	810	90	900	765	135	135
Agosto	810	90	900	765	135	135
Septiembre	810	90	900	765	135	135
Octubre	810	90	900	765	135	135
Noviembre	810	90	900	765	135	135
Diciembre	810	90	900	765	135	135
<b>Total</b>	9720	1080	10800	9180	1620	<b>1620</b>

La seccional se abastece de tres fuentes de agua: agua lluvias, el pozo de agua de la institución (agua superficial) y en situaciones de contingencia, el acueducto El Capiro, lo que no ocurrió en el 2023, periodo que se está evaluando.



**Figura 5. Tanque de almacenamiento**



**Figura 6. Planta de tratamiento de agua potable**

Como se mencionó anteriormente, las aguas lluvias representan el 90% del consumo total de agua, lo que equivale a  $810\text{m}^3$  mensuales y el 10% restante ( $90\text{m}^3$ ) proveniente del pozo (Tabla 5)

El volumen total de captación mensual son  $900\text{ m}^3$ .

El valor del vertimiento de aguas domesticas no tratadas ( $m^3/mes$ ) se obtiene de multiplicar el total de agua captada por 0,85 (coeficiente de retorno), siguiendo las recomendaciones del Artículo 134 del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

El agua total evaporada (15%) se calculó restando el vertimiento, al agua total captada.

La huella hídrica azul mensual total es de  $135 m^3$ , cifra obtenida al restar el volumen de agua vertida sin tratar del total de agua captada. Por consiguiente, la huella hídrica azul anual de la Seccional Oriente para el año 2023 es  $1620 m^3$ .

Dentro de las limitaciones de para realizar los cálculos tenemos que la Seccional Oriente no cuenta con medidores y los datos obtenidos fueron por las entrevistas realizadas al personal encargado, lo cual son datos aproximados, lo que conlleva a que no sean datos muy exactos.

Debido a que los cálculos de consumo de agua son aproximados no se cuenta con la variación inherente a los cambios en el clima asociados a los periodos de lluvia y sequia o las vacaciones colectivas de la universidad, lo cual supone una limitación importante para contar con datos precisos.

### Huella hídrica verde

Para calcular la huella hídrica verde, se multiplicó el área de las zonas que requieren riego por los días de riego mensuales (ocho días al mes, correspondientes a dos días por semana) y por el consumo de riego. Este último se determinó utilizando los valores estipulados en la "Guía metodológica para Determinar Módulos de Consumo y Factores de Vertimientos de Agua" (AMVA, 2010). El resultado obtenido representa el consumo total de litros de agua por mes. (Tabla 6). Este valor se divide por 1000 para calcular los metros cúbicos mensuales y obtener la huella hídrica verde anual, la cual corresponde a  $32,63m^3$ .

**Tabla 6.** Consumo de agua para riego de jardines

Lugar de riego	Área $m^2$	Días de riego/mes	Consumo de riego $L/m^2$	Consumo $L/mes$	Consumo de riego mensual $m^3$	Huella Hídrica Verde $m^3$
Jardines Universidad	161,86	8	2,1	2719,248	<b>2,719</b>	<b>32,63</b>
Total						<b>32,63</b>





**Figura 7.** Jardines Seccional Oriente

Para el cálculo del área total de jardines, se tomaron directamente las medidas en cada uno de los jardines que riegan en la Seccional, luego se calculó el área de cada uno y estos fueron sumados para obtener el dato del área total que fue de  $161,86 \text{ m}^2$

### **Huella hídrica gris**

Para el cálculo de la huella gris, se consideraron cinco variables clave: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), nitrógeno y fósforo total. El caudal de vertimiento ( $Q_{sal}$ ), que corresponde al agua doméstica no tratada, se determinó a partir del cálculo de la huella hídrica directa azul.

La concentración de contaminantes en el vertimiento ( $C_{sal}$ ) se estableció utilizando los datos obtenidos de las muestras analizadas por el personal del Laboratorio GIGA el 19 de octubre de 2022, en una sesión de monitoreo que duró doce horas, realizada por solicitud de la Seccional Oriente.

Se asume que la concentración de contaminantes en el agua de entrada a la institución ( $C_{act}$ ) es cero, dado que el agua proviene de fuentes potables. Igualmente, se considera que la concentración de contaminantes en el cuerpo de agua receptor sin intervención humana en la cuenca ( $C_{nat}$ ) es cero, lo cual implica que el agua entra a la institución sin contaminantes (tablas 8, 9, 10, 11, 12).

Los límites máximos permisibles ( $C_{max}$ ) de DQO, DBO y SST fueron tomados de la resolución 0631 del 2015 (Tabla 7). Las concentraciones máximas aceptables de nitrógeno y fósforo totales se tomaron de los objetivos de calidad establecidos en el POMCA del río Aburrá, debido a que el POMCA de la quebrada La Pereira y del Río Negro no especifican límites máximos para estos nutrientes.

**Tabla 7.** Parámetros establecidos en la Resolución 0631 de 2015

Parámetro	Unidades	Límite máximo permisible *	Método
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O <sub>2</sub>	180,00	Ensayo a 5 días - Sonda Óptica (SM 5210B, SM 4500-O H)
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	90,00	Reflujo Cerrado y Colorimétrico (SM 5220 D)
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	90,00	Gravimétrico - secado a 103-105°C (SM 2540 D)
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y reporte	Digestión Ácido Sulfúrico – Persulfato - Ácido Ascórbico (SM 4500-P-B, E)
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y reporte	Macro Kjeldahl / Destilación - Volumétrico (SM 4500-Norg-B, 4500-NH <sub>3</sub> B, C)

\* Límite máximo permisible de acuerdo con la resolución 0631 del 2015, artículo 08: Aguas residuales domésticas con una carga menor o igual a 625 kg/día DBO<sub>5</sub>

Los resultados de la huella hídrica mensual, basados en una sola muestra y los resultados anuales, obtenidos al multiplicar los valores mensuales por doce, para cada contaminante se presentan en las tablas 8, 9 ,10,11, 12.

**Tabla 8.** DQO. Salida planta de tratamiento

	Q sal (m <sup>3</sup> /mes)	DQOsal (ppm)	Qabs (m <sup>3</sup> /mes)	DQO act (ppm)	DQO máx. (ppm) Res. 0631	DQO natural (ppm)	HH gris DQO (m <sup>3</sup> )
Mensual	765	37,3	900	0	180	0	158,53
Anual							<b>1902,30</b>

**Tabla 9.** DBO. Salida planta de tratamiento

	<b>Q sal (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>DBOsal (ppm)</b>	<b>Qabs (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>DBO act (ppm)</b>	<b>DBO máx (ppm) Res. 0631</b>	<b>DBO natural (ppm)</b>	<b>HH gris DBO (m<sup>3</sup>)</b>
Mensual	765	7,49	900	0	90	0	63,67
Anual							<b>763,98</b>

**Tabla 10.** SST. Salida planta de tratamiento

	<b>Q sal (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>SSTsal (ppm)</b>	<b>Qabs (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>SST act (ppm)</b>	<b>SST máx (ppm) Res. 0631 (carga menor a 625 kg DBO5/día)</b>	<b>SST natural (ppm)</b>	<b>HH gris SST (m<sup>3</sup>)</b>
Mensual	765	9	900	0	90	0	76,50
Anual							<b>918,00</b>

**Tabla 11.** Nitrógeno total. Salida planta de tratamiento

	<b>Q sal (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Nitrógeno total sal (ppm)</b>	<b>Qabs (m<sup>3</sup>/ es)</b>	<b>Nitrógeno total act (ppm)</b>	<b>Nitrógeno total máx (ppm) POMCA (Aburrá)</b>	<b>Nitrógeno total natural (ppm)</b>	<b>HH gris nitrógeno total (m<sup>3</sup>)</b>
Mensual	765	30,1	900	0	20	0,85	1202,43
Anual							<b>14429,14</b>

**Tabla 12.** Fósforo total. Salida planta de tratamiento

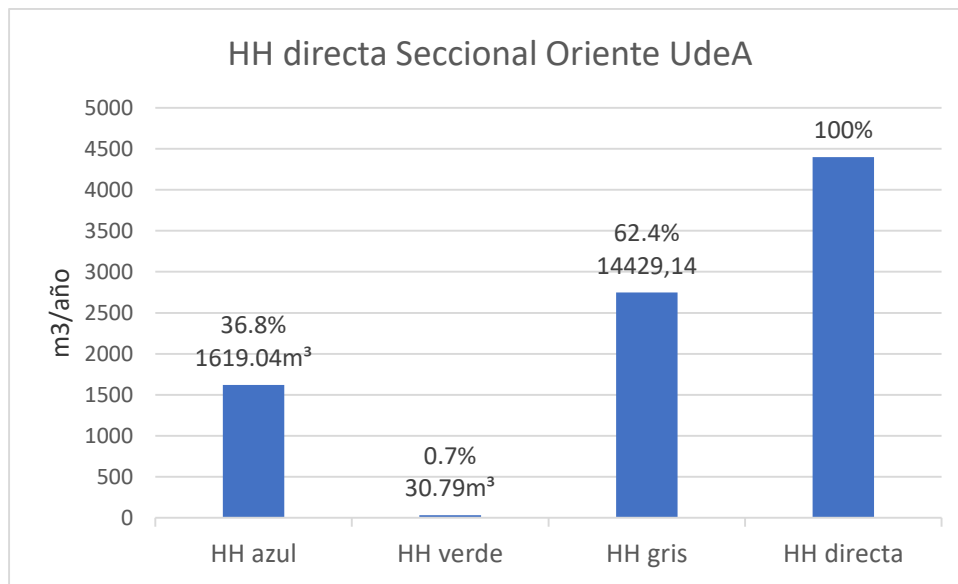
	<b>Q sal (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Fósforo total sal (ppm)</b>	<b>Qabs (m<sup>3</sup>/mes)</b>	<b>Fósforo total act (ppm)</b>	<b>Fósforo total máx (ppm) POMCA (Aburrá)</b>	<b>Fósforo total natural (ppm)</b>	<b>HH gris Fósforo total (m<sup>3</sup>)</b>
Mensual	765	5,97	900	0	20	0,049	228,91
Anual							<b>2746,96</b>

El resultado anual de la huella hídrica gris de la Seccional Oriente es de 14429,14 m<sup>3</sup>, cifra que fue principalmente influenciada por el nitrógeno total, el contaminante con la mayor contribución a la

huella hídrica anual. Esto indica que se requieren 14429,14 m<sup>3</sup> de agua cada año para diluir los contaminantes vertidos por la Seccional Oriente a la quebrada La Pereira y cumplir con los estándares de calidad nacional.

La institución cuenta con una planta de tratamiento donde las aguas residuales se procesan usando dos reactores aerobios con inyección constante de aire, facilitando la degradación del material orgánico y su transformación en lodos. Estos lodos son posteriormente secados y utilizados como abono. Gracias a este proceso, se espera que las concentraciones de DQO, DBO y SST se mantengan significativamente por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la legislación colombiana. Sin embargo, después del tratamiento, el agua es liberada a la quebrada La Pereira a través de un canal de salida y es importante destacar que los nutrientes como el fósforo y el nitrógeno no son removidos en el proceso, lo cual explica los altos valores en la huella hídrica gris asociados con estos elementos.

El análisis de la huella hídrica directa de la Seccional Oriente de la Universidad de Antioquia para el año 2023 revela que el total es de 4399,59 m<sup>3</sup>. De esta cantidad, el 36.8% corresponde a la huella hídrica azul, el 0.7% a la huella hídrica verde, y el 62.4% a la huella hídrica gris. (Figura 5).



**Figura 8.** Huella hídrica directa Seccional Oriente UdeA

En el contexto de creciente preocupación por la seguridad hídrica y la sostenibilidad ambiental, entender y gestionar la huella hídrica gris se vuelve crucial para asegurar que los ecosistemas acuáticos y los servicios que proveen sean protegidos y mantenidos para futuras generaciones.

Mekonnen & Hoekstra (2015), realizaron una evaluación global de la huella hídrica gris relacionada con las cargas de nitrógeno antropogénico en los cuerpos de agua dulce, examinando cómo se distribuyen estas cargas entre diferentes sectores económicos y cultivos en el sector agrícola.

Los autores calcularon que la carga global de nitrógeno antropogénico a los cuerpos de agua dulce fue de aproximadamente 32.6 millones de toneladas por año y la huella hídrica gris asociada fue de  $13 \times 10^{12} \text{ m}^3$  por año. El estudio destaca que una gran parte de la huella hídrica gris proviene de fuentes difusas con altas cargas de nitrógeno y otros nutrientes, como el fosforo, lo cual concuerda con lo encontrado en este estudio.

Se puede evidenciar que las cargas de nitrógeno y fosforo total son vertidos a la quebrada La Pereira y principalmente el nitrógeno no cumple con el límite máximo, es importante realizar un postratamiento encaminado a remover nutrientes, ya que el sistema de tratamiento no está siendo eficiente para estos contaminantes. Para evitar impactos mayores en los ecosistemas acuáticos y no exceder la disponibilidad local del agua.

### Huella hídrica electricidad

En la Tabla 13 se presenta el consumo de energía durante el año 2023, destacando noviembre como el mes de mayor consumo.

**Tabla 13.** Consumo de energía año 2023

MES	Consumo de energía en KWH/mes	Consumo energía GJ/mes	Factor para energía hidroeléctrica	HH energía (m3/mes)
Enero	1009	3,6	22,3	81,0
Febrero	901	3,2	22,3	72,3
Marzo	1015	3,7	22,3	81,5
Abril	899	3,2	22,3	72,2
Mayo	951	3,4	22,3	76,3
Junio	993	3,6	22,3	79,7
Julio	847	3,0	22,3	68,0
Agosto	836	3,0	22,3	67,1
Septiembre	929	3,3	22,3	74,6
Octubre	911	3,3	22,3	73,1
Noviembre	1067	3,8	22,3	85,7

Diciembre	1065	3,8	22,3	85,5
<b>Total</b>	11.423	41,1	22,3	<b>917</b>

El consumo total de energía para el año 2023 fue de 11.423 Kw/h, lo que corresponde a 41,1Gj. Al multiplicar este valor por el factor para energía hidroeléctrica, obtenemos que la huella hídrica total del consumo de energía en la Seccional Oriente es de 917 m<sup>3</sup>.

### Huella hídrica papel

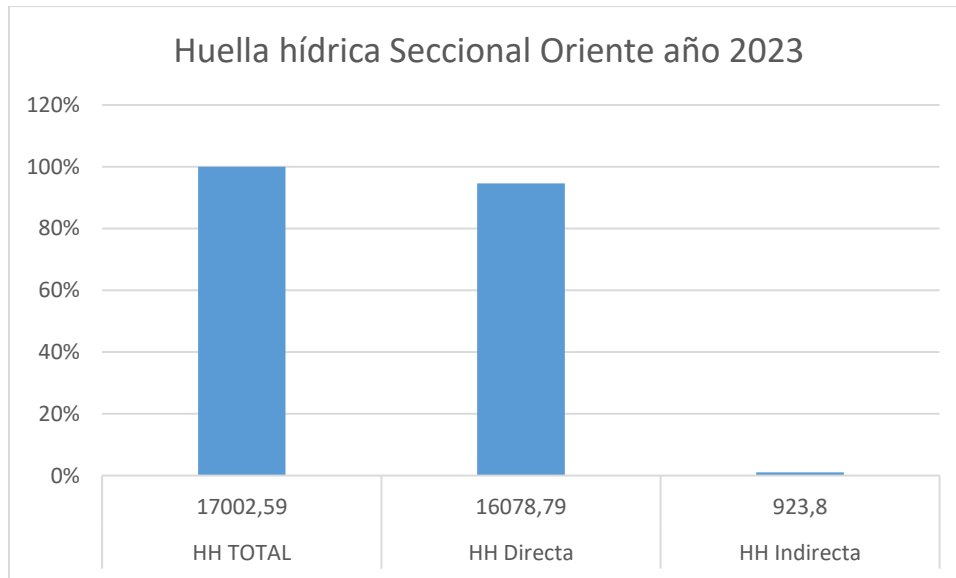
De acuerdo con la información proporcionada, el consumo de papel en baños durante el año 2023 fue de 435 rollos y 243 rollos de toallas de mano (Tabla 14). Estos valores fueron multiplicados por el factor de conversión y el resultado se dividió entre 1000 para calcular la huella hídrica total en metros cúbicos. Así, la huella hídrica del papel en la Seccional Oriente resultó ser de 6.78 m<sup>3</sup> por año. Cabe destacar que este valor representa únicamente el consumo de papel higiénico y toallas de mano, lo cual podría constituir un porcentaje relativamente bajo del total de la huella hídrica del papel.

**Tabla 14.** Consumo de papel año 2023

	<b>Total consumo año 2023</b>	<b>Factor conversión (10L/rollo)</b>	<b>HH papel m<sup>3</sup></b>
Papel higiénico rollos	435	4350	4,35
Toallas de mano rollos	243	2430	2,43
<b>TOTAL</b>			<b>6,78</b>

De acuerdo con los valores obtenidos, la huella hídrica indirecta total es de 923.8 m<sup>3</sup>, donde la contribución de la electricidad representa el 99.3%, mientras que la del papel solo alcanza el 0.7%.

Finalmente, cuando sumamos la huella hídrica directa e indirecta, tenemos que la huella hídrica total de la Seccional Oriente para el año 2023 es de 5323.3 m<sup>3</sup>, de los cuales el 83% equivalen al valor de la huella hídrica directa y el 17% a la huella hídrica indirecta (Figura 6).



**Figura 9.** Huella hídrica Seccional Oriente 2023

Como se observa en la tabla 15, existe una gran variabilidad en las huellas hídricas entre las diferentes instituciones. Por ejemplo, la Universidad de Córdoba en Colombia tiene una huella hídrica total mucho más alta que la Universidad Técnica de Konya o la Universidad de Estambul-Campus Avcilar de Cerrahpasa. Esto puede explicarse a diferencias en la gestión del agua, el tamaño y tipo de campus, las prácticas ambientales adoptadas. Estos resultados de la huella hídrica reflejan también las variaciones en la disponibilidad de recursos hídricos y políticas de gestión del agua a nivel local o nacional. (Tabla 15)

La huella hídrica no siempre está directamente relacionada con el número de estudiantes y empleados. La Seccional Oriente tiene un número menor de estudiantes que la Universidad Técnica de Konya, pero su huella hídrica total es 70% más alta, debido posiblemente a prácticas menos eficientes o a la naturaleza de las actividades realizadas en el campus.



**Tabla 15.** Comparación huella hídrica universidades

Institución educativa	HH azul	HH verde	HH gris	HH total directa	HH indirecta	Número estudiantes y empleados	Autor
Universidad Militar Nueva Granada sede campus, Cajicá, Colombia	53541		188339,71	241880,71	976262,83	9.149 estudiantes	Becerra & Urrego (2021)
UPB seccional Bucaramanga, Colombia	9433	21269,624	36178,036	66880,55			Vega Sánchez (2019)
Universidad de Estambul-Campus Avcilar de Cerrahpasa	1329	199	320,78	1848,78			Elmaslar Özbaşı et al. (2021)
Universidad Técnica de Konya				1694		3.825 estudiantes	Mesutoğlu (2024)
Universidad Politécnica Salesiana campus Sur, Ecuador	2302	5676,48	23381,82	31360,5	11312667,82	9533 estudiantes	Ortiz Sarango (2018)
Universidad de Cordoba, campus Montería, Colombia	77397	25724	61842,7	164963,3	443710,97	11.996 estudiantes y empleados	Contreras Tuirán & Torres Porto (2017)
Universidad CES, Colombia	22372	358	33596	56326	155152	4.964 estudiantes	Salas Caballero (2023)
Universidad de Keele, Inglaterra				54.7476		11.328 estudiantes y empleados	Gu et al. (2018).
Universidad de Katmandú, Nepal	63432		52930	628375,55	155764,8	3.656 estudiantes y empleados	Vaidya, Shrestha & Ghimire (2021)
Seccional Oriente, UdeA	1620	32,63	2746,96	4.399,59	923,8	2.190 estudiantes y empleados	Este estudio

A diferencia de instituciones como la Universidad Politécnica Salesiana que tienen una huella indirecta extremadamente alta (11,312,667.82 m<sup>3</sup>) este valor tan alto puede surgir debido a la cantidad de agua que se utiliza para la elaboración de papel para el caso de la Universidad Politécnica Salesiana que es el papel Bond, además de la cantidad de estudiantes que hay en la universidad, la Seccional Oriente tiene una huella indirecta relativamente baja (923.8 m<sup>3</sup>), lo que sugiere una cadena de suministro con bajo uso de agua, sin desconocer la falta de datos en nuestro análisis.

Como se observa en la tabla 15, la Universidad Militar Nueva Granada presenta una HH total directa muy alta comparada con otras instituciones, siendo dominante la HH gris, lo que sugiere un alto nivel de contaminación del agua debido, por ejemplo, al uso de laboratorios universitarios dentro de la institución. Por otro lado, la Universidad Politécnica Salesiana y Universidad de Córdoba se destacan por su alta HH indirecta, lo cual podría estar relacionado con actividades que dependen de cadenas de suministro con intensivos consumos de agua, como la fabricación de papel.

La Universidad de Estambul y Universidad Técnica de Konya muestran huellas hídricas totales relativamente bajas, posiblemente debido a prácticas de gestión del agua más eficientes

Las instituciones con un mayor número de estudiantes y empleados no necesariamente muestran una HH total más alta, lo que sugiere que la eficiencia en el uso del agua no está directamente relacionada con el tamaño de la población universitaria.

Instituciones como la Universidad de Keele y la Universidad de Katmandú, con una comunidad universitaria grande, tienen HH totales que varían significativamente, lo que puede reflejar diferencias en la gestión del agua, el clima o los procesos académicos específicos.

A pesar de la Seccional Oriente de UdeA tiene una huella hídrica total mucho más baja que la de otras universidades con más personal, la eficiencia hídrica por persona puede no ser tan alta como parece inicialmente, lo que sugiere que aún hay espacio para mejoras en términos de eficiencia y sostenibilidad del uso del agua en la institución.

El reconocimiento de las prácticas efectivas de gestión de agua, como la captación de aguas lluvia y la existencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en la Seccional Oriente, subraya un compromiso inicial con la sostenibilidad ambiental en el contexto universitario. No obstante, este estudio resalta desafíos significativos en cuanto a la precisión en la recopilación de datos sobre

el consumo de agua en el campus, lo cual es esencial para una gestión efectiva y para identificar áreas de mejora continua.

La ausencia de medidores específicos de agua en áreas clave y la complejidad inherente en el proceso de recopilación de datos detallados son obstáculos principales que impiden una comprensión completa del uso del agua. Estos desafíos se ven agravados por barreras administrativas que restringen el acceso a la información necesaria, lo que puede entorpecer los esfuerzos para optimizar el uso del recurso hídrico. También se encontró que los datos recopilados mediante entrevistas con el personal eran aproximados y por lo tanto, no completamente fiables para análisis o planificaciones futuras. Esto subraya la importancia de mejorar las técnicas de recopilación y registro de información sobre el consumo de agua.

Finalmente, la gestión de las facturas de energía desde otra sede de la universidad resalta la necesidad de mejorar la comunicación y colaboración entre distintas unidades administrativas para asegurar la disponibilidad de datos precisos y relevantes para una gestión sostenible de los recursos.

Los retos identificados en la adquisición de datos sobre el consumo de agua en la universidad resaltan la urgencia de mejorar los sistemas de gestión y monitoreo del agua y de fomentar una mayor colaboración y transparencia dentro de la institución. Estas mejoras son esenciales para avanzar hacia una universidad más sostenible y responsable en el uso del agua y otros recursos naturales.

## 8. Recomendaciones

- Instalar medidores en todas las áreas del campus para monitorear el consumo específico de agua. Esto permitirá identificar áreas de alto consumo y fugas potenciales. A través de los datos recopilados podría crearse un mapa de consumo de agua del campus que identifique zonas críticas de alto consumo o desperdicio.
- Desarrollar e implementar un sistema de gestión de información que permita recopilar, almacenar y analizar datos sobre el consumo de agua de manera centralizada y accesible.
- Capacitar al personal y a los estudiantes sobre la importancia de una gestión eficiente del agua y fomentar una cultura de responsabilidad ambiental en toda la comunidad universitaria: Se debe crear un programa de capacitación específica para el personal de mantenimiento, administrativo y académico, así como talleres interactivos para estudiantes. Es necesario desarrollar campañas de concientización que incluyan materiales visuales y eventos para promover la reducción del consumo de agua.
- Así mismo, es importante pensar en la integración de temas de gestión sostenible del agua en el currículo universitario, ofreciendo cursos y desarrollando trabajos de grado relacionados.
- Realizar análisis anuales para identificar las variables que influyen en la huella hídrica gris, debido a que este tipo de huella representa la mayor contribución al total.
- Implementar un programa de monitoreo regular de las concentraciones de nutrientes en el sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Establecer límites de concentración para nutrientes clave como nitrógeno y fósforo, y ajustar el proceso de tratamiento según sea necesario para mantener los niveles dentro de los estándares aceptables según la resolución 0631 del 2015.
- Realizar una evaluación exhaustiva para identificar las posibles fuentes de emisión de nutrientes contaminantes, como el uso excesivo de detergentes en actividades de limpieza.
- Implementar medidas para reducir o eliminar estas fuentes de contaminación, como la promoción de detergentes biodegradables o la optimización de los procesos de limpieza para minimizar el uso de productos químicos.
- Realizar auditorías periódicas para verificar el progreso en la implementación de medidas de uso eficiente del agua y el cumplimiento de los objetivos establecidos en el PUEEA.

- Proporcionar retroalimentación y asistencia técnica para superar posibles desafíos en la implementación del PUEEA y alcanzar sus metas de conservación del agua.

## 9. Conclusión

La huella hídrica gris es la que más contribuye a la huella hídrica total puesto que el valor del Nitrógeno es de 14429,14 m<sup>3</sup>.

El análisis de la huella hídrica directa de la Seccional Oriente de la Universidad de Antioquia para el año 2023 revela que el total es de 4399,59 m<sup>3</sup>. De esta cantidad, el 36.8% corresponde a la huella hídrica azul, el 0.7% a la huella hídrica verde, y el 62.4% a la huella hídrica gris

El cálculo de la huella hídrica en la Universidad de Antioquia surge como una respuesta esencial a los desafíos ambientales y de gestión de recursos que enfrenta la institución. Este esfuerzo no solo proporciona una comprensión detallada del consumo de agua dentro de la universidad, sino que también permite la identificación de áreas críticas para implementar mejoras y desarrollar estrategias efectivas que promuevan un uso responsable del agua y la sostenibilidad ambiental. Integrar esta iniciativa en la cultura universitaria refleja el compromiso de la Universidad de Antioquia con la protección del medio ambiente y su contribución a los objetivos de desarrollo sostenible a nivel local y global.

La implementación de esta medida es un paso significativo hacia una gestión más consciente y eficiente de los recursos hídricos, beneficiando tanto a la comunidad universitaria como al entorno natural donde opera la institución.

Además, la integración del cálculo de la huella hídrica en la planificación y gestión universitaria eleva la conciencia sobre la importancia de conservar el agua y fomenta un cambio positivo hacia un consumo más sostenible. Establecer el valor de la huella hídrica permite a la universidad comprender su impacto en los recursos hídricos locales y globales, un conocimiento crucial para adoptar medidas de conservación y gestión responsable del agua.

Al cuantificar el uso del agua en diversas actividades, desde operaciones administrativas hasta académicas y de investigación, la huella hídrica ofrece información crucial sobre el consumo y los impactos ambientales asociados con el uso del agua en la universidad. Esto facilita la identificación de áreas de mejora y promueve prácticas más eficientes y responsables en el manejo del recurso hídrico.

## 10. Referencias

- Análisis de ciclo de vida [internet]. [Consultado 23 abr 2023]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/Paginas/consumo-sostenible/analisis-de-ciclo-de-vida.aspx>
- Arango, J. A. R., Paniagua, J. F. E., & Herrera, I. P. (2010). Guía metodológica para determinar módulos de consumo y factores de vertimiento de agua. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Arévalo, D., Lozano, J., & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. *Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo*, (6), 101-126.
- Banco de Occidente. La huella hídrica y su impacto en el cambio climático. <https://comunidadplanetaazul.com/huella-hidrica-y-su-impacto-en-el-cambio-climatico/>
- Banco Mundial (2020). Colombia UN CAMBIO DE RUMBO: Seguridad hídrica para la recuperación y crecimiento sostenible. Banco Mundial, Washington DC.
- Becerra, L. N. & Urrego, P. V. (2021). Cálculo de la huella de carbono e hídrica para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Militar Nueva Granada sede campus, Cajicá, Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/38524>.
- Berger, M., & Finkbeiner, M. (2013). Methodological challenges in volumetric and impact-oriented water footprints. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 79-89.
- Bocanegra, E. (2021). Proyecto OIEA IWAVE en América Latina en apoyo del ODS 6: agua segura para todos de manera sostenible. *Boletín Geológico y Minero*, 132(1-2), 87-98.
- Campus la revolución de las ideas. Los tipos de huella hídrica y su impacto mundial. [internet]. [Consultado 29 mar 2023], Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/conoce-huella-hidrica/>
- Castillo Valencia, M. (2014). Huella hídrica del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2014.
- Chapagain, A. K., & Abraham, M. A. (2017). Water Footprint: State of the Art: What, Why, and How? *Encyclopedia of Sustainable Technologies*.

Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y. (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70, 749-758.

Club Iagua. ¿Qué es la huella hídrica y cuál es su importancia en la agricultura? <https://www.iagua.es/noticias/colombia/ccafs/15/12/10/que-es-huella-hidrica-y-cual-es-importancia-agricultura>.

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?show=full>.

Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los ríos Negro y Nare – CORNARE-. (2006). Plan de ordenación y manejo de la cuenca La Pereira, municipio de La Ceja del Tambo.

Corporación Universitaria Lasallista. Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales [internet]. [Consultado 29 mar 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/26507131\\_Tecnologias\\_sostenibles\\_para\\_la\\_potabilizacion\\_y\\_el\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales](https://www.researchgate.net/publication/26507131_Tecnologias_sostenibles_para_la_potabilizacion_y_el_tratamiento_de_aguas_residuales).

Correa Assmus, G. (2022). Disponibilidad, acceso y calidad del agua: una reflexión socioambiental para Colombia. *Revista de la Universidad de la Salle*, 2021(87), 151-166.

Corte constitucional de Colombia. Sentencia T-740/11. [Consultado 23 may 2023]. [Internet]. Disponible en: <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/T-740-11.htm#:~:text=El%20art%C3%ADculo%2016%20establece%3A%20E2%80%9CTod%20a,y%20telecomunicaciones%205B%E2%80%A65D%20III>.

Elmaslar Özbaş, E., Sütürmak Pehlivan, T., Özcan, H. K., Öngen, A., et al. (2021). Distribution of Water Footprint Components of University Students and Detecting the Factors that Affect Those Components. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 5(4), 456-463. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2021.4.4>

El-Nwsany, R. I., Maarouf, I., & Abd el-Aal, W. (2019). Water management as a vital factor for a sustainable school. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), 303-313.

ENA 2018. [internet]. [Consultado 20 mar 2023]. Disponible en: <https://cta.org.co/biblionet/estudio-nacional-del-agua-2018/>



Fundación Aquae. ¿Cuál es la calidad perfecta del agua?  
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/calidad-agua/>.

Gara, Takawira. (2017). Review of methodologies of water footprint. *International Journal of Advanced Research*. 5. 1-5. 10.21474/IJAR01/4071.

García Santana, I. N., & Toro Martínez, J. (2013). Evaluación de la huella hídrica generada por los sectores comerciales y de vivienda del barrio la Florida (Bogotá DC).

Gleick, P. H. (2002). Water management: Soft water paths. *Nature*, 418(6896), 373-373.

Grecco, M. A. F. (2013). Huella Hídrica, Agua Virtual: conceptos claves para pensar el recurso hídrico. *Question/Cuestión*, 1(40), 1-8.

Gu, Y., Wang, H., Robinson, Z. P., Wang, X., Wu, J., Li, X., ... & Li, F. (2018). Environmental footprint assessment of green campus from a food-water-energy nexus perspective. *Energy Procedia*, 152, 240-246

Hernández-Gómez, R., Morales-Rozo, C., Llanéz, H., Castillo, J. M., Espinosa, N., Blanco, A., & Luna-Acosta, A. (2020). El agua en Colombia: retos y desafíos para la gestión integral, conservación y usos del recurso hídrico. *Pesquisa Javeriana*.

Hoekstra, A.Y., & Chapagain, A.K. (2008). *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*.

Hoekstra, A.Y., & Mekonnen, M.M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9), 3232-3237.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K, Aldaya M.M, et al. (2021). Manual de evaluación huella hídrica. Establecimiento del estándar mundial.  
[https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_Spanish.pdf](https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf).

Hogeboom et al., 2020, R.J. Hogeboom, D. de Bruin, J.F. Schyns, M.S. Krol, A.Y. Honestar. Capping human water footprints in the world's river basins. *Earth's Future*, 8 (2020).

Huang, K., Yu, Y., & Yang, B. (2017). Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006–2015. *Journal of Cleaner Production*, 149, 70-79.

Ideam (2023). Estudio Nacional del Agua 2022. Ideam. 464 pp.

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. Oferta del agua. [internet]. [Consultado 21 feb 2023]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/siac/ofertaagua>.

Iberdrola. La huella hídrica, clave para preservar un recurso natural vital. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-huella-hidrica>.

ISO. ISO 14046:2014(es) Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices. [Internet]. [Consultado 23 may 2023]. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es>

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.

Mekonnen & Hoekstra (2015). Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water. *Environmental science & technology*, 49(21), 12860-12868)

Mesutoğlu, ö. ç. (2024). Quantifying Water Footprint: A Study on the Academic and Administrative Personnel at Konya Technical University.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial y Ministerio de protección social. Resolución número 2115 de 2007. [Internet]. [Consultado 23 may 2023]. Disponible en: <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>.

Ministerio de la protección social. Decreto número 1575 de 2007. [Internet]. [Consultado 23 may 2023]. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/TyS/Documents/Decreto%201575%20de%202007,MPS-MAVDT.pdf>.

Observatorio del principio 10 en América Latina y el Caribe. Constitución política de Colombia. [Internet]. [Consultado 23 may 2023]. Disponible en: <https://observatoriop10.cepal.org/es/instrumentos/constitucion-politica-colombia>.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Informe sobre temas hídricos.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Huella de agua en la industria bananera. <https://www.fao.org/publications/card/en/c/5b2c340a-c78c-40aa-9227-4d716d8cf9b1/>.

Osorio, C. R., Hernández, D. C., & Duque, J. L. (2012). Corredores biológicos una estrategia de recuperación en paisajes altamente fragmentados. Estudio de caso Microcuenca La Bolsa, municipio de Marinilla. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 7-18.

ONU. (2020). El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático. Noticias ONU. consultado: marzo de 2023. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>.

Ortiz Sarango, C. A. (2018). Medición de la huella hídrica de la Universidad Politécnica Salesiana campus Sur (Bachelor's thesis).

ONU. Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/water>.

Osorio, C. R., Hernández, D. C., & Duque, J. L. (2012). Corredores biológicos una estrategia de recuperación en paisajes altamente fragmentados. Estudio de caso Microcuenca La Bolsa, municipio de Marinilla. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 7-18.

Purabox. Huella hídrica en Colombia. [Consultado 29 mar 2023]. Disponible en: <https://www.purabox.co/blog/huella-hidrica-en-colombia/>.

Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S., & Gerten, D. (2009). Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change. *Water resources research*, 45(7).

Salas Caballero, J. (2023). Estudio de caso: Huella hídrica de la sede Poblado, Universidad CES.

Sanchez-Triana, E., Ahmed, K., & Awe, Y. (Eds.). (2007). Prioridades ambientales para la reducción de la pobreza en Colombia: un análisis ambiental del país para Colombia. The World Bank.

Sentená Montero, M. A. Huella ecológica del sector textil-confección en Colombia para el año 2018.

Sigre. Medicamento y medio ambiente. Blog Corporativo SIGRE. La huella hídrica y su importancia para el cuidado del medio ambiente. [Internet]. [Consultado 24 may 2023]. Disponible en: <https://www.blogsigre.es/2013/12/20/huella-hidrica/>.

Tolosa, M. N. (2009). Huella hídrica. Temas de sostenibilidad urbana. Madrid: Biblioteca CF+ S, <http://habitat.aq.upm.es/temas/a-huella-hidrica.html>.

Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: Una revisión crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15), 79-94.

UNESCO. (2021). The United Nations world water development report 2021: Valuing water. United Nations.) (World Health Organization. (2017). Safely managed drinking water: thematic report on drinking water 2017.

UNESO/WHO/UNEP, 1992. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring - Second Edition.

Universidad de Antioquia. Quienes somos. Naturaleza jurídica. [Consultado 09 may 2023]. [internet]. Disponible en: [https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/quienes-somos!/ut/p/z0/04\\_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziLSydjQwdTQx8\\_D3cLAWczUw\\_cLY0t\\_Q2Dfcz1vfSj8CsAmpCZVVgY5agflZyfV5JaUaIfUZBfVJKYU5qSmqhqkFiMysvIz02FsTPziksyS0qTwW5RNSgszUzNSy3WVSjOz80v1i\\_IjooEAKhdubQ!/#:~:text=La%20Universidad%20de%20Antioquia%20tiene,programas%20de%20Educaci%C3%B3n%20Superior%20de](https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/quienes-somos!/ut/p/z0/04_Sj9CPykssy0xPLMnMz0vMAfIjo8ziLSydjQwdTQx8_D3cLAWczUw_cLY0t_Q2Dfcz1vfSj8CsAmpCZVVgY5agflZyfV5JaUaIfUZBfVJKYU5qSmqhqkFiMysvIz02FsTPziksyS0qTwW5RNSgszUzNSy3WVSjOz80v1i_IjooEAKhdubQ!/#:~:text=La%20Universidad%20de%20Antioquia%20tiene,programas%20de%20Educaci%C3%B3n%20Superior%20de).

Universidad de Antioquia. UdeA en las regiones. Seccional oriente. [internet]. [Consultado 11 may 2023]. <https://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-regiones/oriente>.

Uso y aprovechamiento del recurso hídrico. [internet]. [Consultado 23 abr 2023]. Disponible en:

<https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/uso-y-aprovechamiento/>.

UPME. Sistemas de gestión ambiental [internet]. [Consultado 29 mar 2023]. Disponible en:

[http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/sistemas/sistemas.html](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/sistemas/sistemas.html).

Vaidya, B., Shrestha, S., & Ghimire, A. (2021). Water footprint assessment of food-water-energy systems at Kathmandu University, Nepal. *Current Research in Environmental Sustainability*, 3, 100044.

Vega Sánchez, D. R. (2019). Estimación de la huella de carbono y de la huella hídrica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga en el año 2018.

Vorosmarty, C. J., Green, P., Salisbury, J., & Lammers, R. B. (2000). Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. *science*, 289(5477), 284-288.

World Health Organization. (2019). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2017: special focus on inequalities. World Health Organization.

WWF. (s.f). Agua. consultado: marzo de 2023. Disponible en:

[https://www.wwf.org.co/que\\_hacemos/agua/](https://www.wwf.org.co/que_hacemos/agua/).

Zhang, Y., Huang, K., Yu, Y., & Yang, B. (2017). Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006–2015. *Journal of Cleaner Production*, 149, 70-79.

## **11. Anexos**

Anexo 1. Cronograma

Anexo 2. Presupuesto

Anexo 3. Consentimiento informado diligenciado