

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS EN LA UNIVERSIDAD SANTO**  
**TOMAS VILLAVICENCIO, SEDE AGUAS CLARAS**



Por:

**Juan Sebastián Bonilla Burbano**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**VILLAVICENCIO**

**2020**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**  
**ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA GRIS EN LA UNIVERSIDAD**  
**SANTO TOMAS VILLAVICENCIO, SEDE AGUAS CLARAS**



Por:

**Juan Sebastián Bonilla Burbano**

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero  
civil

Aprobado por:

**M.sc. Álvaro Javier Moyano Salcedo**

Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**VILLAVICENCIO**

**2020**

## **AUTORIDADES ACADÉMICAS**

**Fray José Gabriel Mesa Ángulo, O.P.**

Rector General

**Fray Eduardo González Gil, O.P.**

Vicerrector Académico General

**Fray José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.**

Rector Sede Villavicencio

**Fray Rodrigo García Jara, O.P.**

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

**Julieth Andrea Sierra Tobón**

Secretaria de División Sede Villavicencio

**Ing. Manuel Eduardo Herrera Pabón**

Decano Facultad de Ingeniería Civil

**Nota de aceptación**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

ING. MANUEL EDUARDO HERRERA PABÓN  
Decano Facultad Ingeniería Civil

\_\_\_\_\_  
ING. ALVARO JAVIER MOYANO SALCEDO  
Director Trabajo de Grado

Villavicencio, 17 de septiembre de 2020

## **RESUMEN**

La contaminación es un efecto que se genera en diferentes áreas, esta afecta principalmente la naturaleza y todo aquello que la compone. Para mitigar los problemas por contaminación han surgido gran variedad de alternativas, una de ellas es el tratamiento de aguas residuales la cual beneficia en gran parte a los cuerpos hídricos y básicamente su función es disminuir casi a 0% todos aquellos contaminantes que se generan por desechos antropogénicos y naturaleza, el agua se ve afectada ya que se utiliza para darle un uso del cual posteriormente ya no se garantizará potabilidad en ella, a esta agua se denomina aguas residuales. Usualmente en lugares donde no se tienen sistemas de tratamiento de aguas, el agua residual se vierte directamente a los ríos lo cual afecta drásticamente la contaminación, por lo tanto, se han implementado diferentes maneras para hacer que el agua llegue lo más potable posible a los cuerpos hídricos, entre ellos uno de los principales son las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para poblaciones urbanas y rurales.

En la industria e instituciones, se implementan sistemas de tratamiento que garantizan potabilizar el agua de las empresas antes de que se mezcle con las aguas residuales en los alcantarillados, para el desarrollo de los sistemas de tratamiento es importante tener en cuenta la Huella Hídrica Gris, ya que este indicador nos permitirá analizar las aguas residuales para posteriormente dar una solución a la contaminación generada por la institución, teniendo en cuenta todos los factores que son generadores de agua residual de manera antropogénica y natural, para así brindar la mejor solución para reducir el impacto ambiental que se genera.

***Palabras Clave:*** *Huella hídrica, aguas residuales, PTAR, potabilización, contaminación, sistemas de tratamiento.*

## ABSTRACT

*Pollution is an effect that is generated in different areas, it mainly affects nature and everything that makes it up. To mitigate pollution problems, a great variety of alternatives have emerged, one of them is wastewater treatment, which largely benefits water bodies and basically its function is to reduce to almost 0% all those pollutants that are generated by waste Anthropogenic and natural, the water is affected since it is used to give it a use of which later it will no longer be guaranteed potability in it, this water is called wastewater. Usually in places where there are no water treatment systems, wastewater is directly discharged into rivers, which drastically affects pollution, therefore, different ways have been implemented to make the water reach the most potable water bodies, among them one of the main ones are the Wastewater Treatment Plants (WWTP) for urban and rural populations.*

*In the industry and institutions, treatment systems are implemented that guarantee to make the water of the companies drinkable before it mixes with the wastewater in the sewers, for the development of the treatment systems it is important to take into account the Gray Water Footprint, since this indicator will allow us to analyze the wastewater to later provide a solution to the pollution generated by the institution, taking into account all the factors that are generators of wastewater in an anthropogenic and natural way, in order to provide the best solution to reduce the environmental impact that is generated.*

**Key Words:** *Water footprint, wastewater, WWTP, purification, contamination, treatment systems.*

## **CONTENIDO**

<b>1</b>	<b>GLOSARIO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
	4.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>5</b>	<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>6</b>	<b>ESTADO DEL ARTE.....</b>	<b>20</b>
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>25</b>
	7.1.DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS.....	25
	7.2.POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	29
<b>8</b>	<b>DESARROLLO.....</b>	<b>31</b>
	8.1.ETAPA 1 (DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES GENERADORAS DE AGUAS RESIDUALES Y DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO).....	31
	8.2.ETAPA 2 (CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA GRIS Y ANÁLISIS DE CONFLICTOS POR EL USO DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO) .....	36
	8.3. ETAPA 3 (DESARROLLO DE PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS VILLAVICENCIO, SEDE AGUAS CLARAS).....	38
<b>9</b>	<b>RESULTADOS E IMPACTOS.....</b>	<b>41</b>

<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>44</b>
10.1	CONCLUSIONES.....	44
10.2	RECOMENDACIONES .....	45
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>46</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>51</b>



## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1.....	20
Figura 2.....	22
Figura 3.....	29
Figura 4.....	32
Figura 5.....	33
Figura 6.....	34
Figura 7.....	39
Figura 8.....	41

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1 .....	26
Tabla 2 .....	35
Tabla 3 .....	36
Tabla 4 .....	38
Tabla 5 .....	40
Tabla 6 .....	42
Tabla 7 .....	43
Tabla 8 .....	43

## 1 GLOSARIO

- **Huella Hídrica – Arjen Hoekstra:** A través del indicador de la Huella Hídrica, se puede estimar la cantidad de agua dulce que se requiere indirecta y directamente para producir cierto producto en específico, partiendo desde la fabricación (origen) del mismo, en sí se basa en mostrar la cantidad de agua que consumió para poder producir cierto objeto. El concepto de Huella Hídrica aparece como primera vez en el año 2002 por parte del profesor Arjen Hoekstra, este muestra la Huella Hídrica como un indicador alterno basado en el uso del agua, posteriormente el mismo implementó las metodologías para el cálculo de la huella hídrica, esta se basa en 3 componentes: (Rendón, La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú, 2015)
- Huella Hídrica Azul: Corresponde al uso de agua dulce proveniente de fuentes superficiales y subterráneas. (Rendón, La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú, 2015)
- Huella Hídrica Verde: Volumen de agua total producido por las lluvias y absorbido por bosques y zonas verdes. (Rendón, La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú, 2015)
- Huella Hídrica Gris: Se basa en la cantidad de agua que se utiliza en el proceso de producción de un objeto y posteriormente se desecha como agua residual. (Rendón, La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú, 2015)
- **Metodología Hoekstra:** La Huella hídrica, se presenta como un indicador de sostenibilidad que permite identificar relaciones causa-efecto a nivel socio ambiental. Ofrece igualmente, una visión del agua distinta a la convencional, que facilita detectar impactos sobre el recurso hídrico a causa de los hábitos de consumo de grupos de

población en ubicaciones geográficas específicas. De esta forma, se orienta en derivar una transformación de prácticas cotidianas asociadas a la relación agua-hombre. (Rodríguez, 2018)

- **Huella Hídrica gris:** La huella gris es un indicador asociado a la contaminación del agua dulce por la fabricación de algún producto, por la cual se asimila la carga de contaminantes para llegar a concentraciones que cumplan con las normas de calidad. (Pellicer, 2014) Además, este indicador ha generado polémica debido a que no es un volumen que se emplee en realidad para diluir la carga contaminante ya que su cálculo se basa en el contaminante más crítico. (Arjen Y. Hoekstra, 2011)
- **Aguas residuales industriales/institucionales:** Se entiende como aguas residuales industriales/institucionales a todas las aguas que son desechadas, y además no son aptas para consumo humano. Normalmente son vertidas en colectores de alcantarillados y se dirigen a alguna Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y posterior un afluente o simplemente a un afluente sin tratamiento previo. Se denomina aguas residuales industriales/institucionales a aquellas aguas que son desechadas por industrias o instituciones después de su uso. (Antonio Rodríguez Fernández - Alba, 20)
- **Tratamientos de aguas residuales:** En el ámbito industrial, el tratamiento de aguas no es el mejor comparado con el tratamiento de una PTAR, sin embargo, es un proceso que ayuda a disminuir bastante el impacto ambiental que hacen los vertimientos, en sí, el tratamiento de aguas industriales maneja procesos:  
  
Sedimentación, corrosión, actividad microbiológica y eliminación de agua residual; para cada uno de estos procesos se realizan ciertas aplicabilidades de estructuras y químicos. (Condorchem Envitech, 2018)

- **Sustentabilidad:** La sustentabilidad se basa en la disponibilidad del recurso natural, qué cantidad de recurso hay a disponibilidad y también en escasez. Se tiene como objetivo buscar el equilibrio entre el medio ambiente y el uso de los recursos naturales. No debe confundirse con Sostenibilidad. (Ávila, 2017)
- **Sostenibilidad:** La sostenibilidad se basa en el ejercicio de mantener los recursos, teniendo en cuenta que son una fuente agotable de recursos, se basa en promover a cuidar y mantener el recurso. (Ávila, 2017)
- **Desarrollo Sostenible:** El desarrollo sostenible comprende el cómo el recurso que tenemos va a alcanzar para generaciones futuras, a nivel mundial es un concepto que se escucha, pero no se aplica, se piensa sólo en la vida actual, no se piensa en las próximas personas, el desarrollo sostenible busca prologar los recursos naturales de manera que las próximas generaciones no sufran de escasez extrema. (UNESCO, 2014)
- **Sólidos totales en suspensión:** Los sólidos totales en suspensión, describe las partículas que se encuentran en suspensión presentes en una muestra de agua, se definen por su imposibilidad de separarse de la muestra de agua cuando se utilizan filtros. Las partículas más pequeñas se componen de cargas iónicas y se le denominan sólidos disueltos, además, la presencia de estos contaminantes es muy común, y se presentan como TSS (Total Suspended Solids) pero se debe tener en cuenta la concentración de sólidos disueltos y en suspensión. (Cobo, C. Avendaño y R., 1998)
- **DBO (Demanda Biológica de Oxígeno):** La demanda biológica de oxígeno se utiliza para medir el grado de contaminación, este suele expresarse en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO<sub>2</sub>/L). Se denomina DBO a la cantidad de oxígeno que contaminantes consumen mientras se degradan las sustancias orgánicas que se tienen en

la muestra, entre los contaminantes se encuentran los microorganismos, bacterias aerobias y anaerobias, hongos y plancton. Mientras más grande sea la contaminación, mayor será DBO. (Arturo Cordero, 1979)

- **DQO (Demanda Química de Oxígeno):** La demanda química de oxígeno se utiliza para medir el grado de contaminación y al igual que el DBO, se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO<sub>2</sub>/L). Se define DQO a la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar materia orgánica teniendo en cuenta la utilización de químicos y para posteriormente convertirla en dióxido de carbono y agua. Mientras mayor es DQO, más contaminada estará la muestra. Además, se tiene en cuenta que DQO siempre va a ser mayor a DBO, ya que existen sustancias orgánicas que no se oxidan biológicamente pero sí químicamente. (Arturo Cordero, 1979)
- **Contaminantes por materia orgánica:** Se denomina materia orgánica a todos aquellos desechos de alimentos, aguas negras domésticas y de fábricas que es descompuesta por protozoarios, bacterias y otros, estos se descomponen a medida que pasa el tiempo y con ayuda del oxígeno el cual hace que estas se pasen de ser ricas en energía a ser pobres en energía. Estas se miden a través de la demanda biológica de oxígeno (DBO). (Fondo para la comunicación y la educación ambiental, A.C., 2007)

## **2 INTRODUCCIÓN**

Colombia es un país que se encuentra en constante desarrollo, aún no se ve afectado drásticamente por la escasez de recursos, motivo por el cual aún no se implementan medidas de preventivas, sin embargo, a medida que pasan los años a nivel mundial se ha visto afectado el medio ambiente, la contaminación cada día incrementa, las industrias no toman medidas preventivas, la corrupción se hace evidente en los sectores que causan afectaciones ambientales.

La Huella Hídrica (HH) surge como un indicador importante para evaluar el uso y manejo de los recursos hídricos, permitiendo la implementación de estrategias en una población, empresa y/o sector agropecuario, para la reducción de los impactos a los recursos naturales (Delgado, Trujillo, & Torres Mora, 2013). Mediante el estudio de la escasez hídrica, la metodología de Hoekstra, analiza tres indicadores, según el uso del agua se dividen de la siguiente manera: Los recursos hídricos en la Huella Hídrica Azul que es el agua disponible en fuentes superficiales y subterráneas, la Huella Hídrica Verde abarca el agua obtenida de la precipitación que se almacena en el suelo y la Huella Hídrica Gris la cual es las masas de agua que reciben los vertimientos (urbanos y de regadío), siendo la estimación de esta última el principal objetivo para el análisis de la investigación de los recursos hídricos y el impacto del lanzamiento de las aguas residuales en la Universidad Santo Tomás Villavicencio, Sede aguas claras (Delgado, Trujillo, & Torres Mora, 2013).

En este sentido, en el año 2014 el IDEAM hizo un estudio donde evaluó las áreas hídricas de mayor importancia para el país, resaltando la relevancia hídrica del departamento del

Meta y la necesidad de emprender acciones para la conservación de cuencas y el control de la contaminación por vertimientos directos a los principales cuerpos de agua superficiales. Además, énfasis en el cálculo de indicadores que permitan formular estrategias de gestión del agua, socializando su uso sostenible y buscando el bienestar ecológico de las aguas superficiales, subterráneas, de transición y costeras. Esta investigación podría permitir la apropiación de la comunidad estudiantil y generar en los funcionarios la responsabilidad de transmitir el conocimiento, optando por tomar conciencia y proponer la opción de un sistema que ayude a la recolección y tratamiento de estas aguas residuales.



### **3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿La estimación de la Huella Hídrica gris del agua, permitirá proponer alternativas y/o sistemas hidráulicos que ayuden a disminuir el impacto en los recursos hídricos, en la Universidad Santo Tomas?

El proyecto de investigación se encuentra actualmente en la línea de Geo amenazas, en el semillero de AQUAVIVA de esta manera se busca brindar soluciones a la comunidad estudiantil y administrativa, mediante el estudio de la Huella Hídrica Gris en la universidad Santo Tomas Villavicencio. Lo anterior con el diagnostico de los usos y consumos de agua a nivel institucional, la determinación de la calidad del agua residual y el desarrollo de medidas para el uso eficiente del agua y un sistema de tratamiento de aguas residuales. Además, esto puede ayudar en la solución de los problemas relacionados al vertimiento de aguas residuales sin previo tratamiento, convirtiendo a la Universidad en pionera en estos temas en la región. La disponibilidad del recurso, en cantidad y calidad, mejora el acceso al agua para los diferentes usos. Aspectos que se ven limitados por la escasez del recurso y el grado de contaminación, debido al uso insostenible del recurso. El desarrollo de indicadores como la HH gris de una población, empresa y/o sector productivo, también, incluye al consumidor o productor que afecta el uso de sistemas de agua siendo este un actor principal en la protección y disminución del impacto generado al recurso. Adicionalmente, el desarrollo de estos indicadores ha permitido realizar la cuantificación a escala mundial del gasto y contaminación del agua, incluyendo las necesidades de gestión integrada del recurso, para proponer alternativas que ayuden al estudio y conservación de este. Por esto, resulta importante implementar un estudio que sirva de evaluación de la HH gris del agua en la Universidad Santo Tomas de Villavicencio- Meta.

## **4 OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Estimar la huella hídrica gris en la Universidad Santo Tomas de Villavicencio, Sede Aguas Claras.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Describir las principales actividades asociadas a la generación de aguas residuales y las características hidrológicas de la zona de estudio.
- Calcular la Huella Hídrica Gris y analizar los conflictos asociados al uso del agua en el municipio de Villavicencio.
- Proponer estrategias, alternativas y/o sistemas hidráulicos que permitan disminuir la Huella Hídrica gris en la Universidad Santo Tomas de Villavicencio.

## **5 JUSTIFICACIÓN**

En el departamento del Meta sólo el 32% de municipios cuentan con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y el 68% no realizan tratamiento a las aguas residuales, por consiguiente resultan descargándolas en los cuerpos de aguas superficiales, de los cuales en algunos de los casos se capta de estos afluentes para el tratamiento de agua potable, siendo evidente la ausencia de control en los procesos que no realizan manejo del agua (Castro-Garzón, Rubio-Cruz, & Rodríguez-Miranda, 2014). Además, según la ley 631 de 2015, se deben tener ciertos límites permisibles en el agua residual para los vertimientos de aguas residuales no domésticas al alcantarillado público, de lo contrario se deberán implementar sistemas de tratamiento, del cual la mayoría de las industrias hacen caso omiso debido a que no hay presencia de control. (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2015)

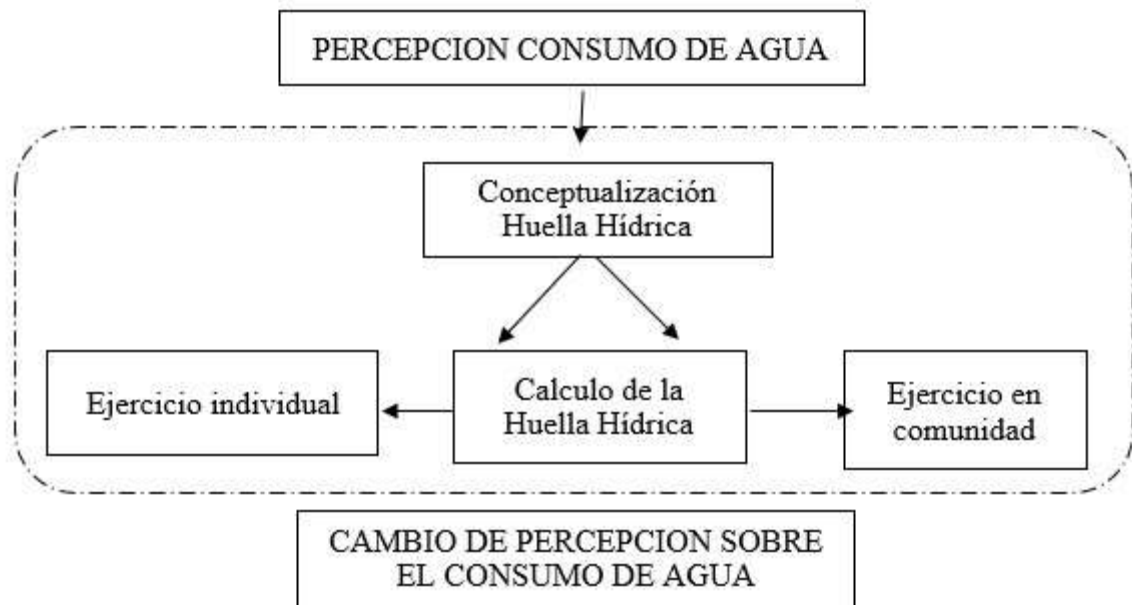
Este proyecto tiene como propósito estimar la huella hídrica gris en la Universidad Santo Tomas de Villavicencio, mediante la metodología de Hoekstra, con el fin de obtener el cálculo de esta y proponer la implementación de alguna alternativa que permita disminuir el impacto de la Huella Hídrica Gris. Además, mediante el análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio, se buscan alternativas de uso y manejo del agua a funcionarios y estudiantes, que ayuden a contribuir al buen manejo de los recursos hídricos. Esta investigación servirá como aporte a la comunidad universitaria, dando paso a la implementación de una nueva metodología para su investigación en diferentes zonas de estudio, para ayudar a minimizar el impacto del manejo de los recursos hídricos.

## 6 ESTADO DEL ARTE

En el estudio “La huella hídrica como una estrategia de educación ambiental enfocada a la gestión del recurso hídrico: ejercicio con comunidades rurales de Villavicencio” los autores proponen que se requiere la implementación de estrategias en las comunidades con el fin de que tomen conciencia en el uso que se están dando en el uso de los recursos hídricos, del agua que se consume en los hogares. A partir de la Huella Hídrica, permitiendo estimar el agua producida en los hogares, planteando talleres participativos con comunidades rurales del municipio de Villavicencio, generando un cambio de percepción en el uso del agua a través de la HH, haciendo tomar conciencia donde se genere un cambio en las relaciones hombre, naturaleza y sociedad (Delgado, Trujillo, & Torres Mora, 2013)

**Figura 1**

*Esquema de la estrategia de educación ambiental implementada.*



*Nota:* Tomado de Scielo

El término de la Huella Hídrica y su cálculo como estrategia en la educación ambiental realizado por las personas líderes de los corregimientos 4 y 7 en Villavicencio, permitiendo

conocer la importancia del uso del recurso hídrico y la responsabilidad adquirida para transmitir, replicar y comunicar las experiencias con la gestión ambiental. (Delgado, Trujillo, & Torres Mora, 2013)

Morales en el año 2018 desarrollo el cálculo de la huella hídrica corporativa de la empresa 5t Saroco como insumo para la formulación de buenas prácticas operativas, con este se buscaron métodos para cuantificar el uso del agua en los procesos de las organizaciones, calculando así la HH, como herramienta para conocer los usos del agua en las etapas del proceso constructivo, optimizando el uso y estableciendo series de objetivos para reducir el consumo, planes y estrategia para la gestión empresarial en cuanto a la utilización y el ahorro de agua, en la medición de los vertimiento para cumplir las normas en el control de los cuerpos de agua superficiales. (Rodriguez, 2018)

Por lo tanto, la Huella Hídrica es un indicador que permite establecer los puntos críticos de la demanda del agua, definiendo lineamientos y estrategia para minimizar consumos, estableciendo planes de acción y las buenas prácticas para el manejo del recurso hídrico, de esta manera se realizó el diagnóstico y cuantificación de la Huella Hídrica, de la siguiente forma: (Rodriguez, 2018)

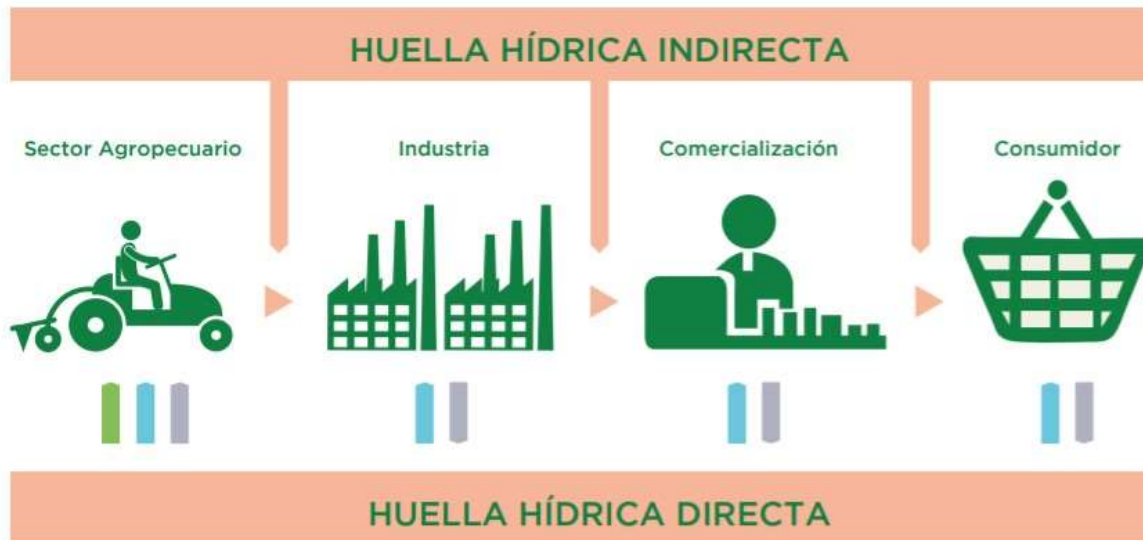
- Recolección de la información In Situ
- Ingreso de la información a la herramienta de cálculo
- Cuantificar la huella hídrica

En el estudio, “Evaluación de la huella hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de gestión del recurso hídrico en el área urbana”, Se tuvo en cuenta los puntos de vertimientos de la ciudad al río Bogotá, analizando tres puntos importantes que componen la Huella Hídrica gris que corresponde a la PTAR El Salitre y a las huellas hídricas grises por las descargas de los ríos Fucha y Tunjuelo. Al tener en cuenta que la cuenca del río Torca

aporta al río Bogotá solamente las aguas pluviales y las aguas negras provenientes de esta cuenca hidrográfica se llevan a la PTAR El Salitre. (Ivanova, 2013)

**Figura 2**

*Huella Hídrica Indirectas y Directas*



Nota: Tomado de Bavaria

El hecho de que el mayor aporte a la huella hídrica gris de la ciudad de Bogotá se da por el río Tunjuelo, se justifica por las actividades socio – económicas desarrolladas en esta cuenca hidrográfica y la pobre infraestructura sanitaria tanto troncal como secundaria, por lo cual su cauce recibe casi la totalidad de los vertimientos de los barrios en su vertiente sur. Según unas estimaciones realizadas, a la contaminación del río Tunjuelo, aportan en relación porcentual el 78.05% el sector de las curtiembres, el 8.78 % el sector de los alimentos y el 5.37 % la industria textil. El porcentaje restante pertenece a los sectores químico, metalmeccánico, estaciones de servicio, entre otros. Adicionalmente, aproximadamente el 34.6 % de la población citadina reside en esta cuenca hidrográfica, realizando los vertimientos de sus aguas residuales directamente al río Tunjuelo. (Ivanova, 2013)

Por consiguiente, el modelo para estimar la huella hídrica gris debería incluir todo el abanico de los parámetros que caracterizan unos u otros vertimientos, lo que en su parte podría aumentar significativamente los volúmenes del agua gris para la cuenca media del río Bogotá. (Ivanova, 2013)

En el documento la huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú, el estudio del indicador de la Huella Hídrica en el presente trabajo es mostrar el estado del arte de esta en el país de Perú, instrumento que es importante en la gestión adecuada del agua, principalmente en ecosistemas que presenten problemas de escasez hídrica, en el contexto climático. (Rendón, La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú, 2015)

De esta manera, se obtuvo un mapeo de las zonas con productores de arroz, recogiendo datos de 71 estaciones hidrometeorológicas que van de 12 a 2740 msnm, proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Para el caso de la huella hídrica gris, el principal contaminante es el nitrógeno, y se ha considerado que el 90% es asimilado por la planta y el 10% se va hacia el agua subterránea, de modo que la huella hídrica gris, utilizando los estándares de calidad ambiental (ECA), para la costa es 2062,8 m<sup>3</sup>/ha y para la selva es 324,6 m<sup>3</sup>/ha. Los departamentos con mayor consumo de agua son Lambayeque, Piura y La Libertad. De la huella hídrica total, el 7% corresponde a la huella hídrica gris, el 9% corresponde a la huella hídrica verde y el 84% corresponde a la huella hídrica azul. (Rendón, La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú, 2015)

Otro estudio denominado “cálculo comparativo de la huella hídrica como criterio de sostenibilidad para el sistema productivo de caña panelera”, permite esclarecer y dar una visión de la HH total en el sector agrícola, con resultados de metros cúbicos del agua

disponible por la obtención de productos agrícolas del sistema productivo de caña panelera, de igual manera se conocieron las afectaciones de las fuentes hídricas en las prácticas agrícolas de la zona, las cuales realizan diferentes fertilizantes, pesticida que afectan y dan aporte su contaminación (Mesa y Rodríguez, 2016). Así mismo, la huella hídrica gris se reporta como un valor bajo ya que la aplicación de productos químicos no se realiza en gran proporción lo que conlleva a un aporte a bajo para la huella hídrica total. Donde se deben tener en cuenta los siguientes factores: (Mesa Sandoval, Maria Alejandra; Rodriguez Carrero, David Orlando, 2016)

- Fracción de lixiviación y escorrentía ( $\alpha$ ) es tomado como el 10% de los fertilizantes de nitrógeno.
- La concentración máxima es tomada en relación con nitratos ( $\text{NO}_3$ ) de la Resolución 2115 de 2007.
- La concentración natural de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) en el cuerpo de agua
- El rendimiento del cultivo que fue un dato recolectado por la Encuesta Nacional

Agropecuaria realizada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas

Por consiguiente, es importante establecer un acompañamiento en los sistemas productivos de la zona por parte de las entidades, que conlleve a los agricultores a unas buenas prácticas tanto del recurso hídrico como del manejo de los sistemas productivos. (Mesa Sandoval, Maria Alejandra; Rodriguez Carrero, David Orlando, 2016)



## 7 METODOLOGÍA

### 7.1. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

Para cumplir con los objetivos planteados en la presente investigación se adaptará la metodología propuesta por Hoekstra en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica, y se diseñaron las siguientes etapas:

- Etapa 1: Descripción de actividades generadoras de aguas residuales y de las características hidrológicas de la zona de estudio.
- Etapa 2: Cálculo de Huella Hídrica gris y análisis de conflictos por el uso del agua en el municipio de Villavicencio.
- Etapa 3: Desarrollo de propuestas para la gestión y uso eficiente del agua en la Universidad Santo Tomas Villavicencio, sede Aguas Claras.

Para el presente estudio el alcance y los límites del sistema son definidos como la entrada y salida del edificio principal (Bloque A y B) de la Universidad Santo Tomas Villavicencio sede Aguas Claras, incluyendo áreas verdes y deportivas. El estudio se realizará durante un semestre académico. Se excluyen todos los procesos administrativos y educativos realizados en las otras sedes de la universidad. Se considerará la universidad como un sistema integrado dentro de su entorno, con entradas asociadas al consumo de recursos naturales, como lo son el agua, papel y combustibles fósiles (energía eléctrica) y salidas como los vertimientos y pérdidas en los procesos.

***Etapa 1: Descripción de actividades generadoras de aguas residuales y las características hidrológicas de la zona de estudio***

Se identificarán los usos del agua en las instalaciones de la Universidad Santo Tomas Villavicencio teniendo en cuenta los usos directos (agua usada en los procesos operacionales).

**Tabla 1**

*Identificación y clasificación de los usos del agua*

---

<b>Huella Hídrica Directa</b>
Consumo de agua
Vertimientos
Áreas verdes

---

Para la recolección de información relacionada con los procesos identificados y seleccionados de la Universidad, se solicitará la información a cada una de las áreas encargadas.

Para el consumo de agua se analizarán las mediciones mensuales desarrolladas por la empresa de acueducto y alcantarillado de Villavicencio ESP (m<sup>3</sup>/mes) en las instalaciones de la universidad. Para estimar el consumo de agua por los diferentes procesos que sean identificados dentro de la universidad se realizara medición directa, revisión de información bibliográfica y estadística, como son hidratación, alimentación, baños, laboratorios, cafetería, entre otros.

Para calcular el volumen total del agua residual vertida (Huella Hídrica gris), se identificarán los puntos o el punto de salida final del agua residual y se realizarán aforos mensuales.

Se describirán las características hídricas y meteorológicas de la zona de estudio, identificando los principales cauces y aspectos socio económicos asociados. La información será relevada de instituciones oficiales como la alcaldía, gobernación, Cormacarena, Ideam, Dane, IGAC, entre otras.

- ***Etapas 2: Cálculo de Huella Hídrica gris y análisis de conflictos por el uso del agua en el municipio de Villavicencio.***

Para el cálculo de la HH gris, se buscará información secundaria sobre los parámetros sobre consumo de agua, en algunas normas que tengan un valor establecido para universidades, en documentos que realicen estudios similares, además de valores que se aproximen a una contaminación dada por instituciones universitarias, parámetros como DBO y Nitrógeno Total, son algunos de los que requeriremos para el análisis de este estudio. También será consultada la normatividad sobre límites permisibles de vertimiento, esto para estimar un aproximado de la concentración actual, máxima y natural de un determinado compuesto en el cuerpo receptor seleccionado. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos sobre la Huella Hídrica gris y el impacto sobre las fuentes hídricas cercanas a la zona de estudio, se analizarán los posibles conflictos asociados al uso del agua y como estos afectan la disponibilidad del recurso en el municipio de Villavicencio (Martínez F. , 2015)

- ***Etapas 3: Desarrollo de propuestas para la gestión y uso eficiente del agua en la Universidad Santo Tomas Villavicencio, sede Aguas Claras.***

Se evaluarán posibilidades de reutilización del agua en los diferentes procesos de la universidad, así como la utilización del agua lluvia, teniendo como premisa su uso sustentable y la minimización del impacto ambiental. También se propondrán alternativas

de reducción del consumo de agua y posibilidades de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Finalmente, y para proporcionar alternativas de uso y manejo del agua a funcionarios y estudiantes, y que puedan contribuir a la aplicación de un sistema de gestión ambiental en la Universidad Santo Tomas Villavicencio basado en el conocimiento científico y tecnológico, se pondrá a disposición de los mismos toda la información obtenida en el presente estudio, así como las experiencias desarrolladas, conclusiones y recomendaciones que permitan favorecer la gestión y uso eficiente del agua a nivel institucional. La Huella Hídrica gris, se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$HH_{gris} = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}} = \frac{Effl \times c_{effl} - Abstr \times c_{act}}{C_{max} - C_{nat}} (m^3 \text{ año}^{-1})$$

Dónde:

**Effl** = Es el volumen del agua residual vertida (m<sup>3</sup> año/mes-1)

**c<sub>effl</sub>** = Es la concentración del compuesto (químico o físico) en el agua residual (mg L-1)

**Abstr** = Es el volumen de agua total consumida para el periodo de estudio (m<sup>3</sup> año/mes-1)

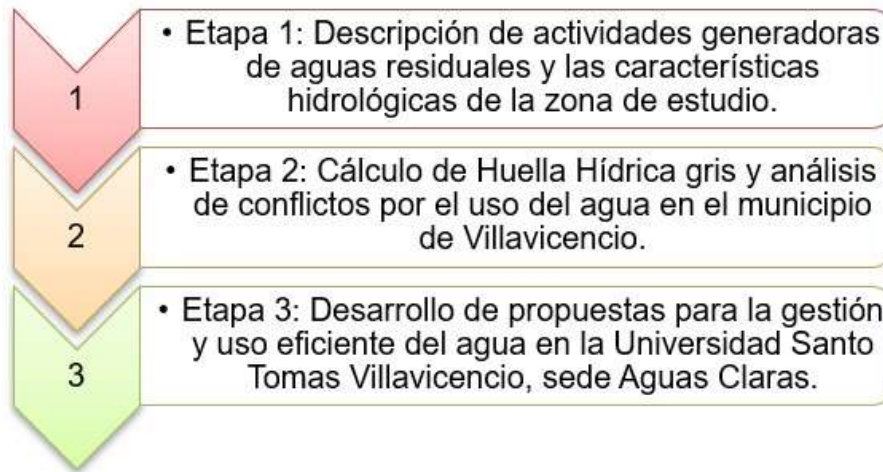
**c<sub>act</sub>** = Es la concentración actual real del compuesto (químico o físico) en el cuerpo hídrico receptor (mg L-1)

**C<sub>max</sub>** = Es la concentración máxima aceptable del compuesto (químico o físico) en el cuerpo de agua de descarga (mg L-1)

**C<sub>nat</sub>** = Es la concentración del compuesto (químico o físico) en la fuente hídrica sin intervención antrópica (mg L-1)

**Figura 3**

*Diagrama etapas*



Nota: Elaborado por autor

## **7.2. POBLACIÓN, MUESTRAS, VARIABLES E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para la estimación de la huella hídrica gris, se tiene como población a analizar a las personas que se encuentran en la Universidad Santo Tomás Villavicencio, sede Aguas Claras, por lo cual se tienen en cuenta las facultades que asisten a esta sede diariamente y las facultades que asisten algunos días a la semana, además de administrativos y en general las personas que hacen parte de la universidad y cómo ellos aportan en la generación de agua residual.

Como muestra, se analizan los usos de agua directos (Agua usada en los procesos operacionales) que se dan en la Universidad Santo Tomás, entre ellos se encuentran: Consumo de agua, vertimientos, áreas verdes, entre otros. Para la obtención de esta información, se solicitará a cada una de las áreas encargadas según corresponda.

Como variables relacionadas con la Huella Hídrica Gris, se identificará el punto de salida de agua residual, y se analizará mensualmente estos vertimientos mediante aforos, además se realizarán encuestas relacionadas con el uso del agua por parte de estudiantes y administrativos.

## **8 DESARROLLO**

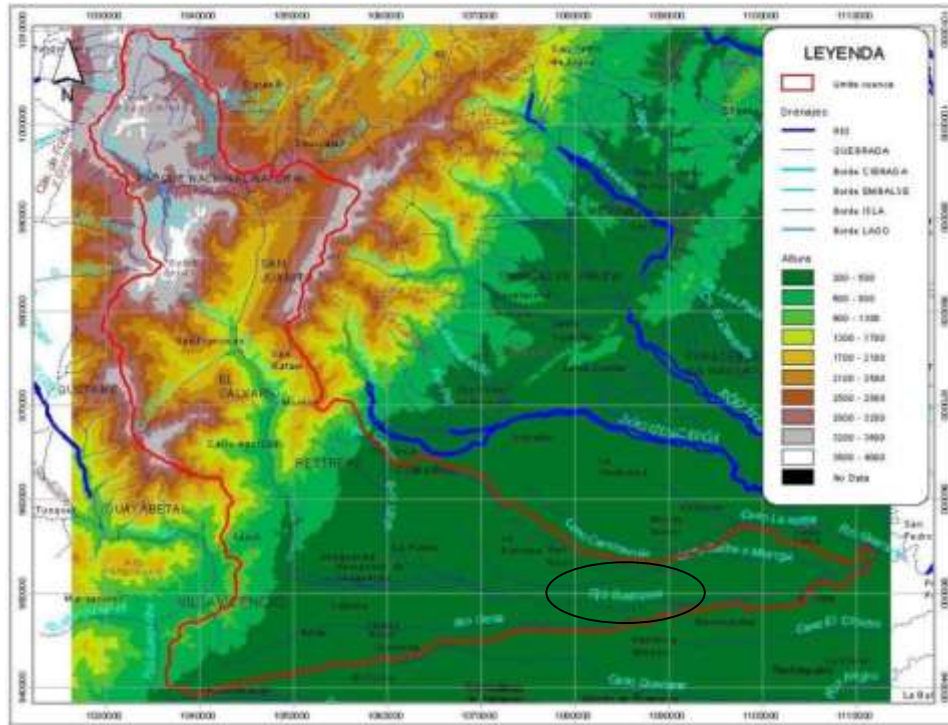
### **8.1. ETAPA 1 (DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES GENERADORAS DE AGUAS RESIDUALES Y DE LAS CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO).**

Para obtener las características hidrológicas de la zona, se realizó una recopilación de información en entidades ambientales ubicadas en Villavicencio (Cormacarena, Ideam, entre otros). La ciudad de Villavicencio denominada como “la puerta al llano” al ser la primera ciudad que se visita cuando se trata de la región del Orinoco, ubicada en el piedemonte llanero de la cordillera oriental. Villavicencio cuenta con una población urbana de 551.212 habitantes para el año 2020, es una ciudad que se caracteriza por sus altas precipitaciones y sus temperaturas media-altas. (Alcaldía de Villavicencio, 2020)

Villavicencio se encuentra ubicada en la cuenca del Río Guatiquía, el cual pertenece a la cuenca del Río Orinoco. Desde el nacimiento del Río Guatiquía en el Páramo de Chingaza a 3500 msnm, hasta su desembocadura en el Río Metica, tiene una longitud de 137km aproximadamente (Ríos del Planeta, 2020). El Río Ocoa y el Río Negro, son de las principales subcuencas que pertenecen a la cuenca del Río Guatiquía, estas dos se encuentra ubicadas al sur de Villavicencio y lo atraviesan de oeste a este; en Villavicencio hay gran cantidad de microcuencas (caños) también pertenecientes a la cuenca del Río Guatiquía, las principales son: Parrado, Gramalote, Maizaro, Quebrada La Unión, Grande, Quebrada Honda, Buque, Rosablanca y La cuerera, entre otros. (Alcaldía de Villavicencio, 2020).

**Figura 4**

*Delimitación cuenca del Río Guatiquía*



Nota: Tomado de cormacarena e IDEAM

El clima de Villavicencio se caracteriza por ser cálido, un clima amazónico, tiene temperaturas que varían de 20°C a 39°C, sin embargo, su temperatura promedio es de 25.5°C; esto varía de acuerdo a la precipitación, ya que los meses con mayor lluvia son los que tiene temperaturas más bajas, por lo tanto, entre diciembre y marzo son los que más calienta, y los restantes meses son más frescos.

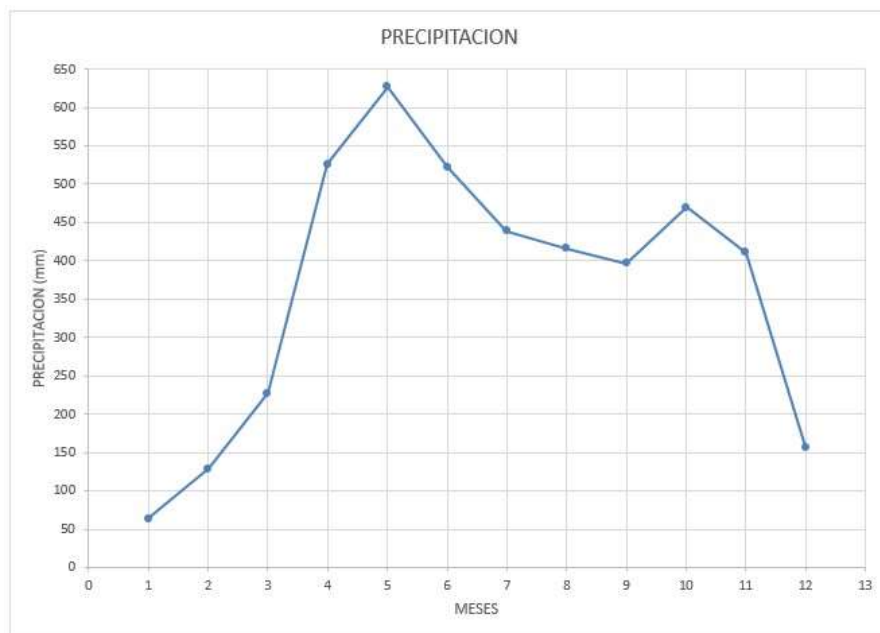
Según el IDEAM, Villavicencio es una de las ciudades del mundo que más llueve, teniendo precipitaciones anuales de aproximadamente 4000mm/año, y un número de días con lluvia promedio de 247. Así como anteriormente se explicaba los meses con mayor lluvia son los que se tiene una temperatura más baja, por lo tanto, los meses con más lluvia van de abril a octubre y se tienen de 22 a 26 días de lluvia; para los días con menos precipitaciones



se tiene lluvias entre 10 y 14 días al mes. En la siguiente imagen podremos ver una gráfica del IDEAM con un promedio de las precipitaciones máximas durante cada mes. (En el anexo A, se encuentran los datos utilizados por parte de la información brindada por el IDEAM para la realización de la gráfica).

### Figura 5

#### *Precipitaciones mensuales*



Nota: Tomado de IDEAM

Villavicencio cuenta actualmente con características hidrogeológicas que la convierten de cierta manera en una ciudad verde, cuenta con una gran cantidad de humedales, entre ellos: aguas claras, kirpas, pinilla, cuerera, coroncoro, calatrava y el charco. Todos se encuentran en el caso urbano de Villavicencio, pero el humedal de nuestro interés es el Humedal del

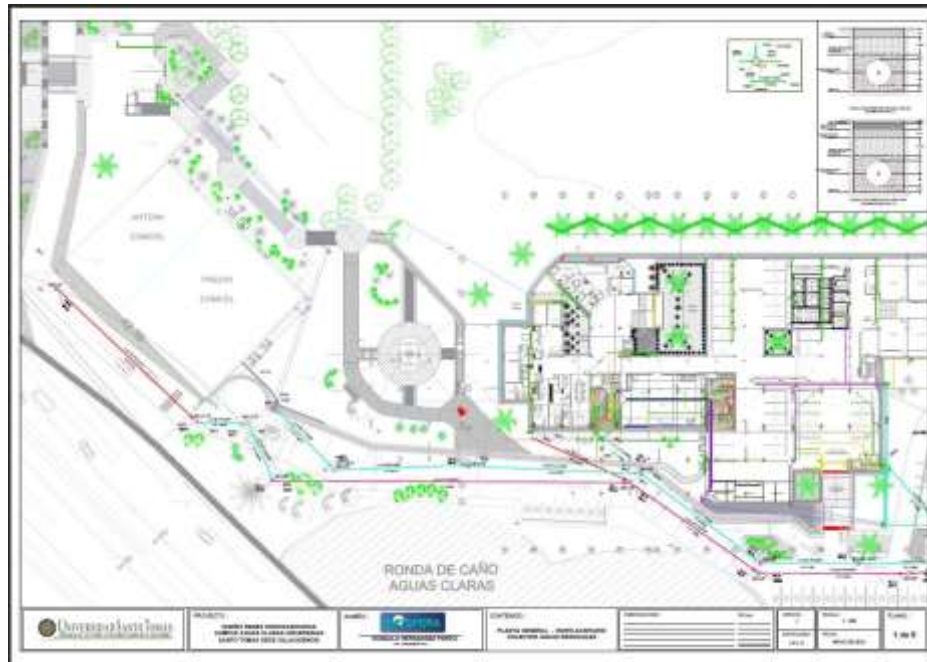
Charco, ya que la infraestructura de la Universidad Santo Tomás Villavicencio sede Aguas Claras está ubicada en este humedal.

Según un estudio realizado por la Universidad de Los Llanos, denominado “percepción y acciones sobre la fauna silvestre de la comunidad aledaña a humedales urbanos, Villavicencio – Colombia, el humedal el Charco cuenta con un total de 326 especies lo cual genera gran admiración ya que desde las instalaciones de la universidad es posible realizar avistamiento de algunas de estas especies. (Leal, 2019)

Para la recolección de información sobre actividades generadoras de agua residual, en primera instancia se procedió a solicitar los planos hidrosanitarios de la Universidad Santo Tomás, sede Aguas Claras (ANEXO B). Se obtuvieron todos los planos hidrosanitarios de todos los pisos del bloque A y bloque B de la universidad, en el Anexo B, a continuación, se muestra uno de los planos del primer piso del bloque A. Se puede observar con detalle cada uno de estos en el anexo B.

**Figura 6**

*Planos Hidrosanitarios*



Nota: Tomado de oficina de planta física, USTA V/cio

Teniendo los planos, se realizó un conteo de todos los elementos que fueran generadores de agua residual, para así saber dónde y qué elementos son los que mayormente generaban agua residual, en la siguiente ilustración, se muestra un recuento de todos los elementos que generan agua residual en la universidad. (Anexo C)

**Tabla 2**

*Recuento puntos generadores de agua residual bloque A y B*

BLOQUE A								
NIVEL	LAVAMANOS	SANITARIOS	ORINALES	CUARTO DE ASEO	LAVAPLATOS	DUCHAS	LLAVE JARDÍN	FUENTE DE AGUA
Semisotano	42	33	10	3	-	6	15	1
Piso 1	11	7	2	1	6	-	-	-
Piso 2	5	4	4	1	-	-	-	-
Piso 3	9	7	-	1	-	-	-	-
Piso 4	10	9	4	1	-	-	-	-
Piso 5	8	6	4	1	2	-	-	-
<b>Total</b>	<b>85</b>	<b>66</b>	<b>24</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>1</b>

BLOQUE B								
NIVEL	LAVAMANOS	SANITARIOS	ORINALES	CUARTO DE ASEO	LAVAPLATOS	DUCHAS	LLAVE JARDÍN	LAB HIDRAULICA
Sotano	1	1	-	-	-	-	-	-
Semisotano	21	13	3	1	47	9	1	5
Piso 1	20	12	5	1	-	-	-	-
Piso 2	34	29	9	2	-	-	-	-
Piso 3	16	11	4	1	-	-	-	-
Piso 4	30	25	8	2	-	-	-	-
Piso 5	15	10	4	1	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>137</b>	<b>101</b>	<b>33</b>	<b>8</b>	<b>47</b>	<b>9</b>	<b>1</b>	<b>5</b>

NIVEL	LAVAMANOS	SANITARIOS	ORINALES	CUARTO DE ASEO	LAVAPLATOS	DUCHAS	LLAVE JARDÍN	OTROS
<b>Total</b>	<b>222</b>	<b>167</b>	<b>57</b>	<b>16</b>	<b>55</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>6</b>

Nota: Información tomada de los planos, elaborado por autor

Se tuvieron en cuenta los puntos generadores de agua hasta el piso 5 del bloque B, ya que hasta este es donde se tenía en funcionamiento la universidad para los periodos de estudio (2019-1 y 2019-2). Hizo la solicitud de recibos de agua en varias ocasiones insistentemente y nunca se tuvo respuesta, también se solicitó la información de la cantidad de personal para los periodos ya mencionados, siendo estos así:

**Tabla 3**

*Cantidad de estudiantes*

<b>PERIODO</b>	<b>CANTIDAD DE PERSONAS</b>
2019 – 1	3434
2019 – 2	3284

Nota: Información brindada por registro y control de USTA V/cio

## **8.2. ETAPA 2 (CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA GRIS Y ANÁLISIS DE CONFLICTOS POR EL USO DEL AGUA EN EL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO)**

Debido a la contingencia sanitaria actual por covid-19, la asistencia a la Universidad Santo Tomás sede Aguas Claras no ha sido la misma que en condiciones normales, la generación de agua residual se ha visto afectada, por lo tanto, el estudio se destinó al periodo 1 y 2 del año 2019, mediante referencias bibliográficas y la cuantificación de consumo se obtendrán los datos necesarios para estimar la huella hídrica gris en la universidad Santo Tomás sede Aguas Claras.

Para el cálculo de la Huella Hídrica Gris, se utilizó la ecuación mostrada anteriormente, los datos de las características de las aguas residuales, se tomaron de acuerdo a diferentes estudios realizados en la Universidad Santo Tomás y otras universidades. Para determinar la demanda (Abstr) de la Universidad Santo Tomás sede Aguas Claras, se tuvo en cuenta la NTC 1500 (Norma Técnica Colombiana) del código de fontanería, la cual nos indica que el consumo promedio para las universidades es de 50L/Persona/día, ya que no se tuvieron facturas de consumo de agua por parte del acueducto, a partir de la norma se estimó un valor de consumo teniendo en cuenta la cantidad de personas que estuvieron en la universidad en estos dos periodos. Para el volumen del efluente descargado (Effl) se asumió una pérdida de un 20% con respecto al agua captada que no regresa a la cuenca.

Para los valores actuales de nitrógeno total (Ceffl) se utilizaron los datos obtenidos por la Universidad de Córdoba, según sus análisis y estudios. Para el valor de DBO, se analizaron los valores hallados por la Universidad Pontificia Bolivariana realizado en la misma Universidad de Córdoba también. Para los dos periodos 2019-1 y 2019-2 se supuso que las características eran las mismas, ya que no hubo cambios en la universidad que afecten el consumo de agua en estos dos periodos. Los valores de contaminantes actuales (Cact) de DBO se obtuvieron de monitores de la CVS por parte de la Universidad de Córdoba en el año 2014, el número de contaminantes de Nitrógeno Total se tomó de un reporte de CAN en el año 2013, el cuál realizó el IDEAM y fue adaptado para la Universidad de Santo Tomás. Para los valores de concentración máxima (Cmax), en el caso del DBO, se tuvo en cuenta la normatividad colombiana, por lo cual, el valor máximo se determinó de acuerdo al artículo 8 de la resolución 0883 del 18 de mayo de 2018, el cual nos indica es el valor máximo de concentración de DBO, para el Nitrogeno total la norma no especifica un valor máximo, por lo tanto, se adaptó el valor máximo de la norma sobre calidad de agua de Argentina. Para el DBO los valores de contaminantes naturales (Cnat), se indica que no es con acciones antrópicas, por lo tanto, se tomaron valores de calidad de agua excelente. Para el nitrógeno total, también se tomó de un reporte brindado por el CAN en el año 2013, el cual realizó el IDEAM en el año 2005.

La cantidad de estudiantes se determina de acuerdo a la cantidad que hubo en el año 2019, lo cual fue de 6718, posteriormente de acuerdo el dato de la norma de 50L/persona/día, se pasaron a año y su resultado fue de un consumo de 122'603.500 L/año. (ANEXO D)

**Tabla 4**

*Datos de entrada HH gris*

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DBO</b>	<b>NITRÓGENO</b>
Effl /Laño	98082800	98082800
Ceffl mg/Laño	19,53	14,784
Abstr /Laño	122603500	122603500
Cact /L	3	0,72
Cmax /L	90	15
Cnat /L	0,5	0,34

Nota: Datos tomados de la UPB y la Universidad de Córdoba

### **8.3. ETAPA 3 (DESARROLLO DE PROPUESTAS PARA LA GESTIÓN Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS VILLAVICENCIO, SEDE AGUAS CLARAS)**

Mediante la búsqueda de referencias como La guía para el uso eficiente y ahorro del agua del Ministerio de Ambiente. La principal propuesta está relacionada con el uso excesivo e inútil que se tiene de agua, es cierto que Villavicencio en conjunto con Quibdó son las ciudades que tiene de las precipitaciones más elevadas del mundo según el IDEAM, contrastando a esto en otro continente como África donde la lluvia escasea y el conseguir agua para consumo resulta ser un reto, un ejemplo no muy lejano es la contaminación que sufre el Río Ocoa debido a la gran cantidad de agua residual que se vierte en ella, la afectación que ha tenido se ha visto reflejada al pasar de los años con desbordamientos y deslizamientos en épocas de invierno y sequías en épocas de verano, por lo tanto, La guía para el uso eficiente y ahorro del agua nos indica que la concientización por medio de información que reduzca la demanda de agua es la principal estrategia que se puede implementar, ya que la visibilidad que tenga el buen uso de agua también influye en que la persona haga un uso ahorrativo añadiendo a esto, la utilización de instrumentos que permitan

la reducción del consumo en grifos, cisternas sanitarias, lavamanos, lavaplatos, entre otros. Son de gran importancia para disminuir la demanda, en los laboratorios de la universidad es donde más se evidencia la falta de aireadores los cuales ayudan a ahorrar hasta un 40% del agua utilizada, y sucesivamente para cada uno de los lavaplatos que no tengan estos instrumentos serían un buen principio para a futuro optar por tener una certificación en uso y ahorro eficiente del agua.

### Figura 7

Instrumentos básicos para ahorro del agua



Nota: Tomado de [plataformaarquitectura.cl](http://plataformaarquitectura.cl)

En la universidad Santo Tomás Villavicencio, se realizó un estudio para implementar la utilización de aguas lluvias, es una propuesta que ayuda bastante a economizar el uso del agua debido a que como anteriormente se mencionaba, Villavicencio es una ciudad con una cantidad alta de precipitación; el estudio comenta que es viable la implementación para todo uso menos consumo, ya que contiene un 90% de pureza. (Ruiz, 2019)

**Tabla 5**

*Cumplimiento de parámetros de aguas lluvias según normal*

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4	Dec.3930/2010	Dec.1594/2007	Dec.1575/2007	Res.3930/2010
Temperatura	°C	23,4	24,0	24,3	24,8	SI	SI	SI	SI
pH		7,3	7,2	7,3	7,2	SI	SI	SI	SI
Conductividad	µS/cm	45,6	45,0	44,3	47,5	SI	SI	SI	SI
Sólidos Totales	gr	0,1065	0,0926	0,1166	0,0718	SI	SI	SI	SI
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	1,42	1,14	0,90	1,09	SI	SI	SI	SI
Turbidez	FAU	2,33	1,83	5,67	1,33	SI	SI	SI	SI
Dureza	mmol/L	0,1	0,1	0,1	0,1	SI	SI	SI	SI
P	mg/L	0,3649	0,2895	0,3568	0,2871	SI	SI	SI	SI
Nitratos	mgNO <sup>3</sup> /L	0,0428	0,0418	0,0631	0,0352	SI	SI	SI	SI
Nitritos	mgNO <sup>2</sup> /L	0,0974	0,0642	0,0709	0,0843	SI	SI	SI	SI
Coliformes Totales		+	-	+	-	NO	NO	NO	NO

Nota: M1 y M3= Muestreo en Canales y bajantes, M2 y M4= Muestreo al aire libre, T°= Temperatura, ST=Sólidos Totales, P=Fosforo, SI=Cumple, NO= no cumple, += (positivo/presencia), -= (Negativo/Ausencia) , por Mahecha D, 2019.

Nota: Tomado de proyecto de Investigación USTA – Ruiz, 2019

La HH gris a pesar de ser un valor estimado resulta ser alto, por lo tanto, mediante el desarrollo y sustentación de este proyecto de investigación, se da a conocer la Huella Hídrica Gris y la afectación que está teniendo en el medio ambiente por parte de la Universidad Santo Tomás.



## 9 RESULTADOS E IMPACTOS

Las principales actividades generadoras de agua residual en la universidad tienen que ver con el aseo personal y necesidades básicas, ya que en la universidad lo que mayormente hay es lavamanos y sanitarios, la cantidad de demás puntos donde se generan aguas residuales pasan a ser mucho menor a lo comparado con lavamanos y sanitarios. (Ilustración 9)

**Figura 8**

*Actividades generadoras de agua residual*



Nota: Elaborado por autor

Teniendo en cuenta la cantidad de lavamanos, se puede asumir que esta es la actividad que más genera agua residual por parte de la universidad. Del agua residual que se genera en la universidad, se puede estimar que sin tener en cuenta los desperdicios, en un 80% el agua residual se vierte en el Río Ocoa y por consiguiente en el Río Guatiquía.

La HH gris en la universidad Santo Tomás, se pudo estimar de acuerdo a todos los parámetros implementados y se realizó su análisis de acuerdo a los límites máximos

permisibles según la norma. Los parámetros de DQO tomados de la UPB y DBO tomados de la Universidad de Córdoba, son mayores a los valores máximos permitidos, en cuanto a los demás parámetros cumplen con la normatividad; sin embargo, si se analiza la relación entre

DQO y DBO es de  $1.87 < 3$ , por lo tanto, el tratamiento debe ser mediante procesos biológicos. Al determinar la HH gris con los parámetros anteriores se evidencia que el volumen necesario para diluir los contaminantes es mayor el Nitrógeno Total por un 18.62%.

**Tabla 6**

*Huella Hídrica Gris*

<b>Huella Hídrica Gris</b>		
HH Gris	DBO	NITRÓGENO TOTAL
Litros	17293257,9	92890968,3
Metros cúbicos	17293,26	92890,97
Porcentaje de diferencia		18,62%

Nota: Elaborado por autor

Por lo tanto, al necesitar mayor dilución en el Nitrógeno Total, los compuestos orgánicos son bastante pequeños, ya que su uso no es mayormente generador de estos compuestos. Hoekstra en el año 2010 nos indica que la HH Gris no debía ser mayor al caudal donde se descargan los vertimientos de la universidad, lo cual se cumple por una gran diferencia, teniendo en cuenta que el caudal del Río Ocoa es de 8.2m<sup>3</sup>/s.

**Tabla 7**

*Resultados.*

<b>Resultado</b>	<b>Indicador</b>	<b>Objetivo Relacionado</b>
<b>Información suministrada por diferentes entidades públicas y privadas (Anexo A, B y D)</b>	Hojas de cálculo y planos	Objetivo específico 1
<b>Recolección de información y cálculos de HH Gris (Anexo D)</b>	Hoja de cálculo	Objetivo específico 2
<b>Análisis de proyectos relacionados con la conservación de agua</b>	Proyecto de investigación (Reutilización de aguas lluvias)	Objetivo específico

Nota: Elaborado por Autor

**Tabla 8**

*Impactos*

<b>ASPECTO</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>PLAZO</b>
Social	Concientizar a las personas sobre el uso ahorrativo del agua	Mediano
Económico	Reducción de costos en consumo de agua y reconocimiento institucional por cuidado por el agua	Largo
Académico	Incentivar a estudiantes a desarrollar proyectos civiles relacionados con el cuidado del medio ambiente	Mediano
Técnico	Futuro diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, pionero en la región	Largo

Nota: Elaborado por autor

## **10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **10.1 CONCLUSIONES**

- La universidad Santo Tomás es una de las universidades más grandes de la Orinoquía, por lo tanto, es importante que se realicen estudios que nos permitan conocer más a fondo sobre lo que la aborda ambientalmente, tanto al municipio como a la universidad, Las condiciones hidrográficas de la zona nos permite tener un volumen de agua vertido grande, sin embargo, la falta de una PTAR hace que la contaminación tenga un efecto dañino muy grande en los ríos adyacentes y si la el gobierno ha desarrollado este proyecto, lo mínimo que pueden hacer las instituciones privadas puede hacer es invertir en un sistema de tratamiento para las instituciones.
- La Huella Hídrica Gris, nos permitió conocer tener un aproximado de como es el comportamiento de los vertimientos que se tienen, además de las características y el análisis que se puede realizar aguas residuales. El consumo de agua residual varía dependiendo principalmente de la cantidad de personas que la habiten, al analizar el caso de la universidad Santo Tomás, la cual está en constante crecimiento rápido, nos damos cuenta que la afectación no es tan certera como en otras instituciones.
- Existe gran variedad de herramientas que se pueden implementar para disminuir el consumo y el pago en la factura, lo cual beneficiaría económicamente a la universidad y en un estatus, tendría cierta marca diferencial al tener sistema de tratamiento de aguas residuales.

## **10.2 RECOMENDACIONES**

Se recomienda implementar una planta de tratamiento de aguas residuales primario adicionándole un tratamiento biológico, ya que. La recolección de aguas lluvias es una muy buena opción para empezar a tener sistemas de tratamiento en una casa o una institución

Se recomienda implementar diferentes estrategias para poder concientizar a la universidad con respecto a que el agua no es un recurso ilimitado, y esto mediante la implementación de instrumentos que permitan tener un ahorro y uso eficiente del agua en cada uno de los puntos de consumo

## BIBLIOGRAFÍA

- A. Rezi and M. Allam,. (1995). Techniques in array processing by means of transformations . En *Control and Dynamic Systems Vol. 69* (págs. 133-180). San Diego: Academic Press.
- Alcaldía de Medellín. (2017). *Manual de indicadores*. Medellin. [https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano\\_2/PlanDeDesarrollo\\_0\\_19/IndicadoresyEstadsticas/Shared%20Content/Libros%20de%20indicadores/Libro%20indicadores%20%202017%20-%20Secretar%C3%ADa%20de%20Salud.pdf](https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlanDeDesarrollo_0_19/IndicadoresyEstadsticas/Shared%20Content/Libros%20de%20indicadores/Libro%20indicadores%20%202017%20-%20Secretar%C3%ADa%20de%20Salud.pdf)
- Alcaldía de Villavicencio. (2020). *Ecología - Meta*. Obtenido de <http://www.villavicencio.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Ecologia.aspx>
- Ávila, P. Z. (2017). *La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad*. Bogotá. <https://doi.org/10.25058/20112742.n28.18>
- Castro-Garzón, H., Rubio-Cruz, M., & Rodríguez-Miranda, J. (2014). Análisis y perspectivas de las coberturas de acueducto y alcantarillado en el Departamento del Meta. *Orinoquia*, 122-129. <https://www.redalyc.org/pdf/896/89640734010.pdf>
- Cobo, C. Avendaño y R. (1998). Seguimiento de los sólidos en suspensión durante el vaciado del embalse de Joaquín Costa. *Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas CEDEX*, 11--119. <http://www.limnologia.info/documentos/limnetica/limnetica-14-1-p-113.pdf>
- Condorchem Envitech. (2018). *Tratamiento de aguas residuales industriales*. Recuperado el 19 de Septiembre de 2019, de <https://condorchem.com/es/tratamiento-de-aguasresiduales-industriales/>
- Cordero, A. (1979). Contaminación Del Río Bermudez, Alajuela. *AGR*, 109 - 113. [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v03n02\\_109.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v03n02_109.pdf)
- Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca. (2019). *Permisos de vertimiento* . Obtenido de <https://www.car.gov.co/vercontenido/1168#>
- Decreto 2811 (18 de diciembre de 1974). *Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Diario Oficial No 34.243.

- [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto\\_2811\\_de\\_1974.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Decreto_2811_de_1974.pdf)
- Delgado, S., Trujillo, J., & Torres Mora, M. (1 de Junio de 2013). Luna Azul, 70-77. Obtenido de la huella hídrica como una estrategia de educación ambiental enfocada a la gestión del recurso hídrico: ejercicio con comunidades rurales de Villavicencio: <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n36/n36a06.pdf>
- Ferdinand, P. (2019). *Impacto Ambiental de Pozos Sépticos en Puerto Rico y su Diseño y Control*. Puerto Rico. <https://educacionambientaluprm.files.wordpress.com/2017/07/impacto-de-los-pozos-septicos.pdf>
- Fondo para la comunicación y la educación ambiental, A.C. (08 de Noviembre de 2007). Contaminación del agua por materia orgánica y microorganismos. (agua.org.mx) Recuperado el 18 de Diciembre de 2019, de <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-materia-organica-y-microorganismos/>
- Gómez, J. (15 de febrero de 2019). historia de la comunidad del barrio "El brillante". Alcaldía Municipalde Villavicencio
- Hoekstra, A; Chapagain, A; Aldya, M: & Mekonnen, M. (2011). *The water footprint assessment manual*. [https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual\\_2.pdf](https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf)
- Ivanova, Y. (2013). *Evaluación de la Huella Hídrica de la ciudad de Bogotá como una herramienta de gestión del recurso hídrico en el área urbana*. Bogotá. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/15009>
- Leal, L. M. (2019). Percepción y acciones sobre la fauna silvestre de la comunidad aledaña a humedales urbanos, Villavicencio - Meta. *Universidad de Los Llanos*. <https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/001/1643/1/PERCEPCI%C3%93N%20Y%20ACCIONES%20SOBRE%20LA%20FAUNA%20SILVESTRE%20DE%20LA%20COMUNIDAD%20ALEDA%C3%91A%20A%20HUMEDALES%20URBANOS%20VILLAVICENCIO-COLOMBIA.pdf>

- López, L; Paredes, A. & Alcaraz, N. (2010). *Análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos en las aguas costeras de la región de Murcia*. (Universidad Politécnica de Cartagena) Obtenido de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/2059/apf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, A., Chargoy, J., Puerto, M., Suppen, N. & Rojas, D. (2015). *Huella de Agua (ISO 14046) en América Latina. Análisis y recomendaciones para una coherencia regional*. Colombia. <https://www.shareweb.ch/site/Suiz-Agua-Colombia/Documents/Huella%20Agua%20ISO%2014046%20America%20Latina.pdf>
- Mesa,, María; Rodríguez, D. (2016). *Cálculo Comparativo de la huella hídrica como criterio de sostenibilidad para el sistema productivo de caña panelera*. Bogotá D.C. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/369/](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/369/)
- Miao, L. L. (November 8-12). A specification based approach to testing polymorphic attributes. *Formal Methods and Software Engineering: Proceedings of the 6th International Conference on Formal Engineering Methods, ICFEM 2004*. Seattle, WA, USA,. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30482-1\\_28](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-30482-1_28)
- Molina, R. D. (2010). *Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada la macana, San Antonio de prado, municipio de Medellín*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/1304/1/DiagnosticoContaminacionAguasResidualesDomesticas.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Salubridad y calidad del agua* Obtenido de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/water-quality/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/es/)
- Pedrozo Martínez, H. (2011). *Estudio para la construcción de pozos sépticos: Campo Casabe*. Obtenido de [https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1666/digital\\_21071.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1666/digital_21071.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pellicer, F. (2014). *La Evaluación de la Huella Hídrica Gris en una Demarcación Hidrográfica*. España: Conama 2014.



- <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711645.pdf>
- Peter Kalt, C. B. (2019). Un sistema de tratamiento de agua solar de desinfección de distancia . *Elservier*, 4.
- Pixel Group Net S.A.S. (15 de Mayo de 2019). Safetya. Obtenido de PHVA: Procedimiento lógico y por etapas para la mejora continua: <https://safetya.co/phvaprocedimiento-logico-y-por-etapas/>
- Rendón, E. (2015). La huella hídrica como un indicador de sustentabilidad y su aplicación en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 34-47. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/40>
- Resolución 1016. (Noviembre de 2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS - 2000*. Obtenido de Ministerio de Desarrollo Económico. [http://cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema\\_Gestion\\_de\\_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad\\_Gnl/Resolucion%201096%20de%202000-Nov-17.pdf](http://cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos%20y%20procedimientos%20Vigente/Normatividad_Gnl/Resolucion%201096%20de%202000-Nov-17.pdf)
- Resolución 631. (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*. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. [https://rds.org.co/apc-aa-files/ba03645a7c069b5ed406f13122a61c07/resolucion\\_631\\_de\\_2015\\_vertimientos\\_minambiente.pdf](https://rds.org.co/apc-aa-files/ba03645a7c069b5ed406f13122a61c07/resolucion_631_de_2015_vertimientos_minambiente.pdf)
- Ríos del Planeta. (16 de Enero de 2020). *Río Guatiquía: mapa, y todo lo que necesita saber de él*. Obtenido de <https://riosdelplaneta.com/rio-guatiquia/>
- Rodríguez, A; Letón, P; Rosal, R; Dorado, M; Villar, S. & Sanz, J. (2006). *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Madrid. [https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2\\_Tratamientos\\_avanzados\\_de\\_aguas\\_residuales\\_industriales.pdf](https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf)
- Rodríguez, S. A. (2018). *Cálculo de la Huella Hídrica corporativa de la empresa 5ta Saroco como insumo para la formulación de buenas prácticas operativas*. Trabajo de grado. Universidad Distrital Fransisco José de Caldas. Bogotá.

- <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/13984/MoralesRodriguezSandraAngelica2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz, D. J. (2019). *Determinación De Los Posibles Usos Del Aprovechamiento De Aguas Lluvias A Partir De Su Cantidad Y Calidad En Los Campus De La Universidad Santo Tomás Sede Villavicencio*. Villavicencio: Usta.  
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19337?show=full>
- Sole, A. C. (2006). *Instrumentación Industrial*. Mexico: Alfaomega.
- Suarez, M. (2012). *Interaprendizaje de estadística básica*: Universidad Técnica del Norte.  
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8696/1/Interaprendizaje%20de%20Estad%20C3%ADstica%20B%20C3%A1sica%202018.pdf>
- Unesco, C. G. (2014). *El Desarrollo Sostenible: Conceptos básicos, alcance y criterios para su evaluación*.  
<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Cap3.pdf>
- Vicente Cruz Mínguez, E. G. (2019). *Sistema de evaluación del impacto ambiental*.  
Obtenido de <https://eprints.ucm.es/9445/1/MemoriaEIA09.pdf>
- Wigner, E. P. (2005). Theory of traveling wave optical laser . *Phys. Rev.*, 134, A635-A646.

## **ANEXOS**

### **ANEXO A**

PRECIPITACIÓN MENSUAL DE VILLAVICENCIO FORMATO .XLS

### **ANEXO B**

PLANOS HIDROSANITARIOS DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS SEDE  
AGUAS

CLARAS FORMATO .RAR

### **ANEXO C**

CUANTIFICACIÓN DE PUNTOS DE CONSUMO DE AGUA FORMATO .XLS

### **ANEXO D**

CÁLCULOS DE HUELLA HÍDRICA GRIS .XLS