

Evaluación del impacto sobre la calidad del agua de los vertimientos de aguas residuales  
domésticas de asentamientos no planificados del Área Metropolitana de Bucaramanga.

Caso de estudio: Santos bajo.

Carlos Humberto Madera Cuevas

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Civil

Director

Edgar Ricardo Oviedo Ocaña

Ingeniero. Sanitario, MSc, PhD.

Codirector

Sebastián Elías Patiño

Ingeniero. Civil, MSc

Universidad Industrial de Santander

Facultad fisicomecanica

Escuela de ingeniería civil

Bucaramanga

2023

## **Agradecimientos**

A Dios, que ha sido mi guía y mi roca durante todo este proceso, gracias por ser luz en la oscuridad y en mi constante crecimiento personal, social, profesional y familiar.

A todos mis amigos que han sido pilar importante en momentos de estudios, de apresurar el paso, en la planeación y ejecución de actividades, en la convicción de mis avances y reproceso en mi surgir como Ingeniero Civil, ellos con los cuales en el día a día me acompañé y fortalecí.

A mi madre y mi padre, que siempre han estado ahí para mí, siendo esos motores que impulsan mi vida.

A mis tíos, primos y abuelos, que siempre me han apoyado.

Y a mi querida e ilustre Universidad Industrial de Santander, por brindarme las mejores oportunidades para la vida.

## Tabla de Contenido

	<b>Pág.</b>
1. Objetivos.....	17
1.1 Objetivo General.....	17
2. Metodología.....	18
2.1 Fase 0: Revisión de literatura .....	18
2.2 Fase 1: Reconocimiento de la situación actual del ANP.....	20
2.2.1 Diagnóstico de la situación actual de Santos Bajo. ....	20
2.2.2 Reconocimientos de los puntos de monitoreo. ....	22
2.2.3 Fase 2: Análisis fisicoquímico y microbiológico de los vertimientos de aguas residuales.....	25
2.2.4 Monitoreo de calidad de agua sobre la corriente.....	26
2.2.5 Monitoreo de los vertimientos.....	28
2.3 Fase 3: Determinar el efecto de los vertimientos de agua residual sobre la calidad del agua del río Suratá .....	29
2.3.1 Análisis univariado.....	29
2.3.2 Análisis de varianza.....	30
2.3.3 Índice de Calidad del Agua .....	32
3. Resultados.....	33
3.1 Fase 0: Revisión de literatura .....	33
3.2 Fase 1: Diagnósticos de la situación del sistema de recolección y transporte de aguas residuales y elección de los puntos de monitoreo .....	36

3.3	Fase 2: Análisis de parámetros fisicoquímicas y microbiológicas de los vertimientos de aguas residuales .....	39
3.4	Fase 3: Determinar el efecto de los vertimientos de agua residual sobre la calidad del agua del río Surata. ....	42
4.	Conclusiones.....	46
5.	Recomendaciones .....	47
6.	Referencias bibliográficas .....	48
7.	Apéndices .....	53

## Lista de Tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Conjunto de palabras clave para la búsqueda bibliográfica en bases de datos.....	19
<b>Tabla 2.</b> Búsqueda de artículos en bases de datos. ....	19
<b>Tabla 3.</b> Parámetros de monitoreo de calidad del agua. ....	25
<b>Tabla 4.</b> Normativa colombiana para usos de aguas superficiales .....	32
<b>Tabla 5.</b> Calificación de calidad del agua.....	33
<b>Tabla 6.</b> Parámetros para el cálculo del ICA .....	33
<b>Tabla 7.</b> Relación de resultados de estadística descriptiva de los vertimientos de AR realizados por el ANP.....	41
<b>Tabla 8.</b> Cargas contaminantes de los vertimientos de AR .....	42
<b>Tabla 9.</b> Relación de resultados de estadística descriptiva de los puntos de monitoreo sobre el río Suratá.....	45
<b>Tabla 10.</b> Índice de calidad del agua (ICA).....	45

## Lista de Figuras

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Metodología para la evaluación del impacto sobre la calidad del agua de los vertimientos provenientes de un ANP.....	18
<b>Figura 2.</b> Áreas de drenaje del sistema de recolección y transporte de aguas residual del ANP Santos Bajo.....	23
<b>Figura 3.</b> Mapa de los puntos de monitoreo de calidad del agua. ....	24

## Lista de Apéndices

Apéndice A. Resultados de metodología, objetivo y fuente de contaminación de la revisión de literatura.....	53
Apéndice B. Resultados de parámetros de calidad del agua producto de la revisión de literatura.....	56

## Glosario

**Agua residual:** Las aguas residuales son aquellas que sus propiedades naturales presentan alteraciones producto de la intervención que realiza el hombre, es decir, no reúne las condiciones necesarias para ser utilizada de forma beneficiosa (McGhee, 1999).

Existen diferentes clasificaciones de las aguas residuales, de tipo: industrial, municipal y doméstico. En el caso de las aguas residuales domésticas estas se caracterizan por la presencia de residuos líquidos de origen residencial y comercial que suelen contener gran cantidad de materia orgánica (Yana, 2014).

Por otra parte, el inapropiado manejo de las aguas residuales de tipo doméstico representa la mayor fuente de contaminación para los cuerpos de agua, en el cual sus residuos domésticos son vertidos sobre las diferentes fuentes hídricas a través de un sistema de alcantarillado, o en otros casos son liberados directamente sobre los ríos sin ningún tipo de control o pretratamiento (Yana, 2014)

**Asentamientos no planificados:** Son áreas residenciales en las cuales i. los habitantes no ostentan derecho de tenencia sobre las tierras o viviendas en las que habitan, bajo las modalidades que van desde la ocupación ilegal de una vivienda hasta el alquiler informal; ii. los barrios suelen carecer de servicios básicos e infraestructura urbana; y iii. las viviendas podrían no cumplir con las regulaciones de planificación y suelen estar ubicadas geográfica y ambientalmente en áreas peligrosas (Un-Habitat, 2013).

**Calidad del agua:** El término calidad del agua es usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua. Dichos atributos afectan la disponibilidad para el recurso humano (Irrigación, Uso Industrial y Doméstico) y la salubridad del ecosistema (Welch & Lindell, 2004)

Algunos parámetros importantes de calidad del agua son:

**Coliformes fecales:** Son un grupo de bacterias representado por las familias de las enterobacterias que han sido utilizadas como indicador de contaminación idóneo para el agua potable. Dentro de este grupo, se destacan bacterias aeróbicas y anaeróbicas facultativas; aunque el mayor representante es la bacteria *Escherichia coli*, distinguiéndose por su facilidad de crecer a elevadas temperaturas y por la capacidad de producir la enzima glucoronidasa (Valencia, 2011).

**Conductividad eléctrica:** La conductividad eléctrica es la capacidad que posee el agua para transportar la corriente eléctrica. Se expresa en la mayoría de los casos como  $\mu\text{S}/\text{cm}$  = microsiemens por centímetro (IDEAM, 2007).

**Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Es la cantidad de oxígeno necesaria consumida por microorganismos en condiciones aerobias para descomponer la materia orgánica que se presenta en un cuerpo de agua. Es un método indirecto, el valor se expresa en (mg/L) y normalmente se utiliza un análisis de 5 días a una temperatura de 20°C (Avecillas, 2014).

**Demanda química de oxígeno (DQO):** Es otro parámetro que permite medir indirectamente la cantidad de oxígeno expresado en (mg/L) consumido para transformar la materia orgánica por medios químicos, presente en una muestra de agua tanto natural como residual (Yana, 2014).

**Fósforo total:** Mide la degradación por intervención antrópica, es una forma de aplicar el concepto de propiedad empleado para cuerpos de agua lénticos (ciénagas, lagos, etc.) como la posibilidad de la fuente de asimilar carga orgánica (Corporación autonoma regional de cundinamarca-CAR, 2021).

**Nitrógeno total:** El nitrógeno está presente en la materia orgánica principalmente como eje fundamental de las proteínas y como iones de amonio disueltos, estos se descomponen en nitritos y nitratos mediante acción biológica. Una vez estos compuestos se encuentran en exceso en los cuerpos de agua ocasionan problemas disminuyendo niveles de oxígeno importante para el soporte de la vida.

**Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno presente en el agua y es fundamental para la respiración de los microorganismos y organismos acuáticos (IDEAM, 2007).

**pH:** Expresa la actividad del ion hidrógeno (H<sup>+</sup>) que se presenta en el agua, permite indicar por medio de una escala logarítmica la cantidad ácida o alcalina de una solución acuosa, los valores van en un rango de 0 a 14 (IDEAM, 2007).

**Sólidos suspendidos totales:** Es un parámetro asociado con pequeñas cantidades de materia orgánica y material disperso en virtud de su naturaleza coloidal ya que no sedimentan por gravedad cuando el agua se encuentra en reposo (Anaya, 2012).

**Temperatura:** Mide el nivel térmico que un cuerpo de agua posee y contribuye en la variación del comportamiento de algunos parámetros fisicoquímicos y biológicos (Pérez & Restrepo, 2008).

**Sistema de recolección y transporte de agua residual:** Son infraestructuras construidas para recolectar y transportar las aguas residuales generadas por comunidades, industrias u otras fuentes humanas. Puede tener componentes para recolectar las AR domésticas e industriales como tuberías, que alimentan cámaras inspección y/o conexión (Yana, 2014). Factores como lo son el diseño hidráulico y estructural, los materiales, y la disposición final de AR hacen deficiente este sistema y por ello no puede ser considerado un sistema de alcantarillado (RAS, 2016).

**Vertimiento:** Es la descarga final a un cuerpo hídrico, a un sistema de R&T o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido. Presentando cambios en la calidad del agua en sus propiedades originales, dejándola en un estado inapropiado y peligroso para su uso, aportando así impactos negativos al medio que lo rodea (Morán, 2014)

## Resumen

**Título:** Evaluación del impacto sobre la calidad del agua de los vertimientos de aguas residuales domésticas de asentamientos no planificados del Área Metropolitana de Bucaramanga. Caso de estudio: Santos bajo\*

**Autor:** Carlos Humberto Madera Cuevas\*\*

**Palabras Clave:** Aguas residuales, asentamiento, calidad del agua, contaminación, vertimientos.

**Descripción:** El acelerado crecimiento poblacional a nivel mundial ha estado enmarcado en la deficiente planeación del territorio, gestión de las aguas residuales y prestación de servicios domiciliarios; provocando un aumento de los asentamientos no planificados. Esto ha llevado a que los asentamientos no planificados gestionen de forma deficiente sus aguas residuales provocando un deterioro sobre la calidad del agua de las fuentes receptoras. Por este motivo, la presente investigación evaluó el impacto sobre la calidad del agua de los vertimientos de aguas residuales provenientes de los asentamientos no planificados del Área Metropolitana de Bucaramanga tomando como caso de estudio Santos bajo. Para ello, se realizó un monitoreo de calidad del agua: pH, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, fósforo total, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, nitrógeno total y coliformes fecales; durante dos campañas de muestreo de ocho horas: 10-12/07/2023 (sobre cuatro vertimientos provenientes del asentamiento) y 17-20/07/2023 (sobre tres puntos del río Suratá). La elección de los puntos de monitoreo a través de la metodología aguas arriba-abajo permitió atribuir el impacto sobre la calidad del agua directamente a los vertimientos provenientes del asentamiento. Los datos fueron analizados a través de estadística descriptiva, ANOVA y prueba de Tukey; así mismo, se calculó el índice de calidad del agua (ICA). Finalmente, se puede concluir que el ICA no varía significativamente como consecuencia de los vertimientos del asentamiento Santos Bajo, permaneciendo en un estado regular (0.55-0.63). Se obtuvieron datos sobre el río Suratá para parámetros como coliformes fecales ( $4.40 \times 10^4$  NMP/100mL), nitrógeno total (11.2 mg/L), demanda química de oxígeno (36.5 mg/L) y demanda biológica de oxígeno (20.5 mg/L) con indicios de un grado de contaminación moderado.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad fisicomecánica Escuela de ingeniería civil. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña. Ingeniero Sanitario, MSc, PhD. Codirector: Sebastián Elías Patiño. Ingeniero Civil, MSc

## Abstract

**Title:** Assessment of the water quality impact of domestic wastewater discharges from informal settlements in the Metropolitan Area of Bucaramanga. Case study: Santos bajo \*

**Author(s):** Carlos Humberto Madera Cuevas<sup>1</sup>

**Key Words:** Wasterwater, Residual water, Settlement, Slums, Water quality, Pollution, Contamination, dumpings.

**Description:** The rapid global population growth has been framed within poor territorial planning, wastewater management, and provision of household services, leading to an increase in unplanned settlements. This has resulted in these unplanned settlements inadequately managing their wastewater, causing a deterioration in the quality of water in the receiving sources. For this reason, this research assessed the impact on water quality of wastewater discharges from unplanned settlements in the Metropolitan Area of Bucaramanga, using Santos Bajo as a case study. To do this, water quality monitoring was conducted for parameters such as pH, temperature, electrical conductivity, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, total phosphorus, total suspended solids, chemical oxygen demand, total nitrogen, and fecal coliforms during two eight-hour sampling campaigns: 10-12/07/2023 (four discharges from the settlement) and 17-20/07/2023 (three points in the Suratá River). The choice of monitoring points using the upstream-downstream methodology allowed attributing the impact on water quality directly to discharges from the settlement. Data were analyzed using descriptive statistics, ANOVA, and Tukey's test, and the Water Quality Index (WQI) was calculated. Finally, it can be concluded that the WQI does not vary significantly as a result of the discharges from Santos Bajo settlement, remaining in a fair state (0.55-0.63). Data were obtained for the Suratá River, indicating parameters such as fecal coliforms ( $4.40 \times 10^4$  MPN/100mL), total nitrogen (11.2 mg/L), chemical oxygen demand (36.5 mg/L), and biochemical oxygen demand (20.5 mg/L), with signs of moderate contamination.

---

\* Degree Work

<sup>1</sup>Facultad fisicomecanica Escuela de ingeniería civil. Director: Edgar Ricardo Oviedo Ocaña. Ingeniero Sanitario, MSc, PhD. Codirector: Sebastián Elías Patiño. Ingeniero Civil, MSc

## Introducción

El manejo seguro de las aguas residuales (AR) alrededor del mundo continúa siendo un desafío. De acuerdo con (UN-Water & United Nations, 2018) solo un 39% de la población mundial gestiona de forma segura sus AR. Esta deficiencia en el manejo seguro de las AR genera que 829,000 personas mueran cada año producto de enfermedades relacionadas con aguas insalubres y saneamiento inadecuado. Esta falta de gestión de las AR es producto del acelerado crecimiento poblacional (ONU, 2022), enmarcado en la ausencia de planeación del territorio y prestación de servicios domiciliarios. Consecuentemente, se genera una deficiencia en el manejo de las AR (Odai et al., 2013). En el caso de América Latina y el Caribe este crecimiento poblacional es de 2.2% anual, el cual se concentra en zonas urbanas y, en especial, en asentamientos no planificados (ANP) (ONU, 2022).

Más de mil millones de personas en Latinoamérica residen en ANP que carecen de servicios como el suministro de agua potable, drenaje y tratamiento de AR (UN-Water & United Nations, 2018). Estos atributos, junto con las viviendas deficientes, la tenencia insegura de la tierra y la falta de un sistema de recolección y transporte (R&T) de AR, así como las ubicaciones desfavorables cercanas a las llanuras aluviales de los ríos, facilitan los vertimientos incontrolados de AR, eliminación y contaminación química de ríos urbanos. En consecuencia, los residentes de los ANP tienen más probabilidades de sufrir una variedad de enfermedades potencialmente mortales transmitidas por el agua, el suelo o los sedimentos, como diarrea, tifoidea, cólera, neumonía viral, norovirus, tuberculosis y malaria (Katukiza et al., 2014).

Para ejemplificar la falta de gestión de los vertimientos de AR en ANP, se encontró en Bwaise II (Uganda) evidencia de un deterioro en la calidad de agua (Katukiza et al., 2014). Entre sus resultados destaca, altos niveles de DBO<sub>5</sub> (1354 mg/L) y DQO (5470 mg/L), siendo una amenaza para el medio ambiente acuático por el agotamiento de oxígeno en el agua. También, la presencia de nitrógeno (58.5 mg/L) y fósforo (2.9 mg/L) con un potencial de perturbar la vida acuática a través del enriquecimiento de nutrientes y promover procesos de eutroficación. Adicionalmente, altos niveles de coliformes fecales ( $4.20 \times 10^6$  CFU/100mL) potencialmente adversos para la salud humana dado que, pueden provocar enfermedades gastrointestinales.

(Aguilar & Solano, 2018) aseguran que los vertimientos de AR generan una degradación en la calidad del agua sobre las corrientes superficiales, aguas subterráneas y el suelo. Las condiciones naturales del hidroecosistema se ven alteradas por vertimientos de AR en relación con sus propiedades fisicoquímicas y microbiológicas (Salazar, 2015). Un monitoreo de calidad del agua sobre los cuerpos hídricos ayudaría a gestionar de forma segura los vertimientos de AR provenientes de los ANP.

Por esta razón, se buscó contribuir a identificar la situación actual relacionada con los vertimientos de AR de ANP a fuentes hídricas receptoras. La presente investigación se desarrolló con el propósito de evaluar el impacto de AR domésticas sobre la calidad del agua de un ANP (Santos Bajo) del Área Metropolitana de Bucaramanga. Para esto, se utilizó una metodología compuesta por 3 Fases, la Fase 1 se realizó un diagnóstico del alcantarillado y un reconocimiento de los puntos de monitoreo. En la Fase 2 se realizó el monitoreo a la corriente (Río Suratá) y el monitoreo de los vertimientos evaluando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua. Por último, en la Fase 3 se analizó la información de calidad de agua derivada de los monitoreos.

La investigación se desarrolló en el marco del proyecto del Sistema General de Regalías (SGR) “Desarrollo de estrategias para el manejo de aguas residuales en asentamientos periurbanos del Área Metropolitana de Bucaramanga, con criterios de sostenibilidad y economía circular, cuenca del río Alto Lebrija, Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta –SGR- BPIN: 2021000100536”, liderado por el grupo de investigación GPH de la Universidad Industrial de Santander.

## **1. Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

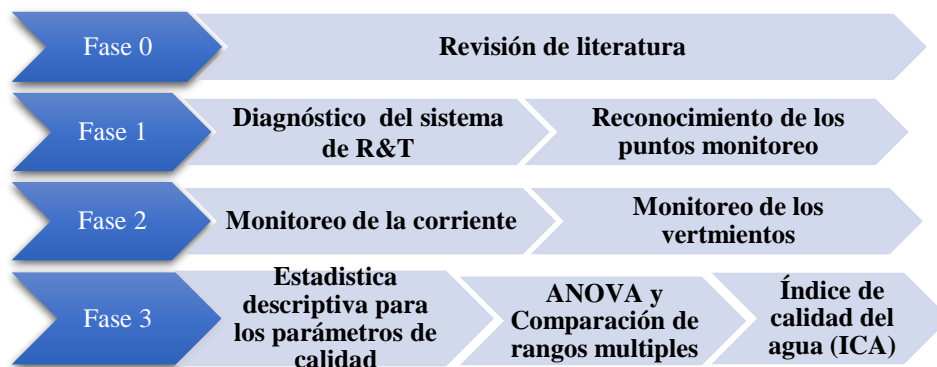
Evaluar el impacto de los vertimientos de agua residual domésticas sobre la calidad del agua de un asentamiento no planificado del Área Metropolitana de Bucaramanga en un periodo de baja precipitación. Caso de estudio: Santos Bajo.

### **1.2. Objetivos Específicos**

1. Identificar las condiciones de manejo de aguas residuales domésticas en un asentamiento no planificado del Área Metropolitana de Bucaramanga objeto de estudio.
2. Analizar características fisicoquímicas y microbiológicas de los vertimientos de aguas residuales del asentamiento no planificado estudiado.
3. Determinar el efecto de los vertimientos sobre la calidad del agua del río Suratá, utilizando la metodología aguas arriba-abajo.

## 2. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon tres fases articuladas a cada objetivo específico (Figura 1 **Figura 1.** Metodología para la evaluación del impacto sobre la calidad del agua de los vertimientos provenientes de un ANP.). La Fase 0 consistió en una revisión de literatura, seguidamente en la Fase 1 se realizó un diagnóstico del alcantarillado y un reconocimiento de los puntos de monitoreo. En la Fase 2 se realizó el monitoreo a la corriente y el monitoreo de los vertimientos. Por último, en la Fase 3, se analizó la información de calidad de agua derivada de los monitoreos.



**Figura 1.** Metodología para la evaluación del impacto sobre la calidad del agua de los vertimientos provenientes de un ANP.

### 2.1 Fase 0: Revisión de literatura

Se realizó una revisión de literatura para identificar el impacto sobre la calidad del agua de los vertimientos de AR provenientes de ANP. Para esto, se consultaron bases de datos científicas como Scopus® y Web of Science®. La búsqueda en estas bases de datos se realizó empleando un conjunto de palabras clave (Tabla 1) relacionadas con la gestión de las AR en ANP.

**Tabla 1.** Conjunto de palabras clave para la búsqueda bibliográfica en bases de datos

<b>Grupo 1</b>	Wastewater	Residual water	
<b>Grupo 2</b>	Settlement	Slums	Periurban
<b>Grupo 3</b>	Water quality		
<b>Grupo 4</b>	Pollution	Impact	Contamination

*\*Cada grupo representa un conjunto de palabras clave sinónimas.*

El conjunto de palabras clave fueron ordenadas mediante una sentencia booleana única la cual fue ejecutada en las bases de datos científicas mencionadas anteriormente. Como resultado se obtuvieron 234 artículos, de los cuales 8 eran duplicados. En síntesis, se obtuvieron 226 artículos como resultado del proceso de búsqueda.

Los 226 artículos resultados de la búsqueda fueron filtrados a partir de los siguientes criterios de inclusión: i. Periodo de publicación: 2000-2023; ii. Idioma: inglés o español; y iii. Artículos revisados por pares. Posteriormente, se aplicaron los criterios de exclusión: i. Lectura del título; ii. Lectura del resumen; y iii. Lectura completa; sobre los artículos que no tienen relación con el tópico de investigación (Tabla 2).

**Tabla 2.** Búsqueda de artículos en bases de datos.

	<b>No. Artículos</b>
Búsqueda inicial	226
<b><i>Criterios inclusión</i></b>	
i. Periodo de publicación	173
ii. Idiomas (inglés y español)	160
iii. Revisión por pares	160
<b><i>Criterios exclusión</i></b>	
i. Lectura titulo	82
ii. Lectura resumen	51
iii. Lectura completa	30
<b>Total</b>	<b>20</b>

Finalmente, se organizó la información relevante de los 20 artículos seleccionados en una base de datos en Excel ®. La base de datos contiene la siguiente información: i. Datos de publicación; ii. Objetivo; iii. Metodología para la toma de muestras; iv. Periodo, duración y frecuencia en la toma de muestras; v. Parámetros analizados; vi. Principales resultados y conclusiones.

## **2.2 Fase 1: Reconocimiento de la situación actual del ANP.**

El reconocimiento se realizó mediante dos visitas a la zona de estudio: i. La primera visita tuvo como objetivo reconocer el sistema de R&T de AR del ANP Santos Bajo (Bucaramanga) y localizar los vertimientos provenientes del asentamiento sobre el río Suratá; ii. En la segunda visita se realizó un recorrido por el río Suratá, donde se reconoció en primera instancia los potenciales puntos de monitoreo sobre río Suratá, teniendo en cuenta las especificaciones para el correcto monitoreo de una fuente hídrica y a su vez brindar seguridad a las personas durante el monitoreo (IDEAM, 2020).

### **2.2.1 Diagnóstico de la situación actual de Santos Bajo.**

Se encontró información secundaria del grupo de investigación Geomática de la Universidad Industrial de Santander, la cual comprende una ortofoto geolocalizada del ANP Santos Bajo. La ortofoto fue tomada por un dron no tripulado con una resolución espacial de 0.5 metros y con un tamaño de píxel de 15.000 por 10.000. Con este insumo se elaboró un

mapa geográfico donde se geolocalizó mediante GPS lugares representativos de las estructuras que componen el sistema de R&T de AR y los puntos de vertimiento de AR en cada una de las visitas realizadas a Santos Bajo.

La primera visita consistió en una caminata de 1.5 kilómetros por todas las calles (peatonales y vehiculares) del ANP Santos Bajo geolocalizando los principales elementos del sistema de R&T de AR que dispone la comunidad, además, de los puntos de vertimientos de AR que realiza la comunidad al suelo o fuentes hídricas (Figura 2).

En relación con el sistema de R&T de AR, se documentó información como: i. Existencia y funcionamiento; ii. Localización de la estructura; iii. Cantidad encontrada; de aquellas estructuras que componen el sistema como: i. Caja domiciliar, ii. Cámara de inspección, iii. Colector, interceptor, emisor, aliviadero, sumidero y estructura de separación, iv. Estación de bombeo, v. Estructura de descarga (Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible, 2023).

Por otro lado, se documentaron características de los vertimientos de AR como: i. Tipo de vertimiento, ii. Sitio de disposición, iii. Nombre de la fuente receptora, iv. Estimación del impacto ambiental, v. Uso del agua río abajo y existencia de monitoreo (calidad y cantidad de agua) (Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible, 2023).

### ***2.2.2 Reconocimientos de los puntos de monitoreo.***

En la segunda visita se recorrieron seis kilómetros en sentido de la pendiente del río Suratá para reconocer los puntos de monitoreo sobre la corriente. El recorrido inicio en la quebrada la Capilla localizada 7.1823 N, -73.0787 W hasta 0.5 kilómetros aguas abajo del ANP Santos Bajo 7.1513 N, -73.1187 W (Figura 3).

Con el fin de lograr una disposición de los puntos de monitoreo sobre el río Suratá que permitan desarrollar labores de monitoreo de calidad y cantidad del agua. Se identificaron tramos del río Suratá que cumplieran con las siguientes características (IDEAM, 2016) : i. que su sección deba estar situada en un tramo recto de la corriente; ii. La sección debe ser profunda y tener márgenes naturales altas; iii. La pendiente longitudinal del cauce debe ser uniforme; y iv. el lecho del río debe tener geometría regular, cauce estable y no tener obstáculos (Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible, 2023).

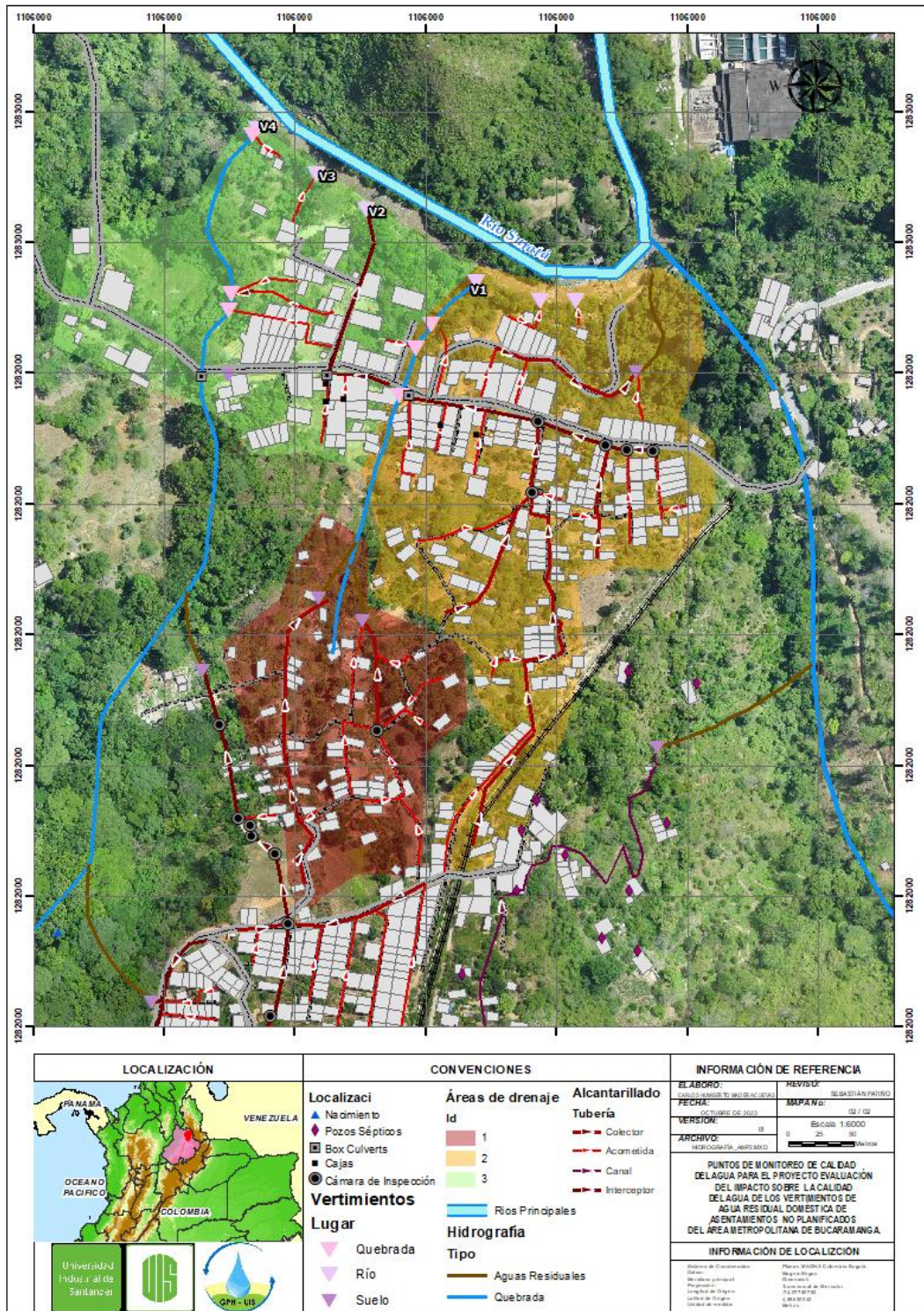


Figura 2. Áreas de drenaje del sistema de recolección y transporte de aguas residual del ANP Santos Bajo

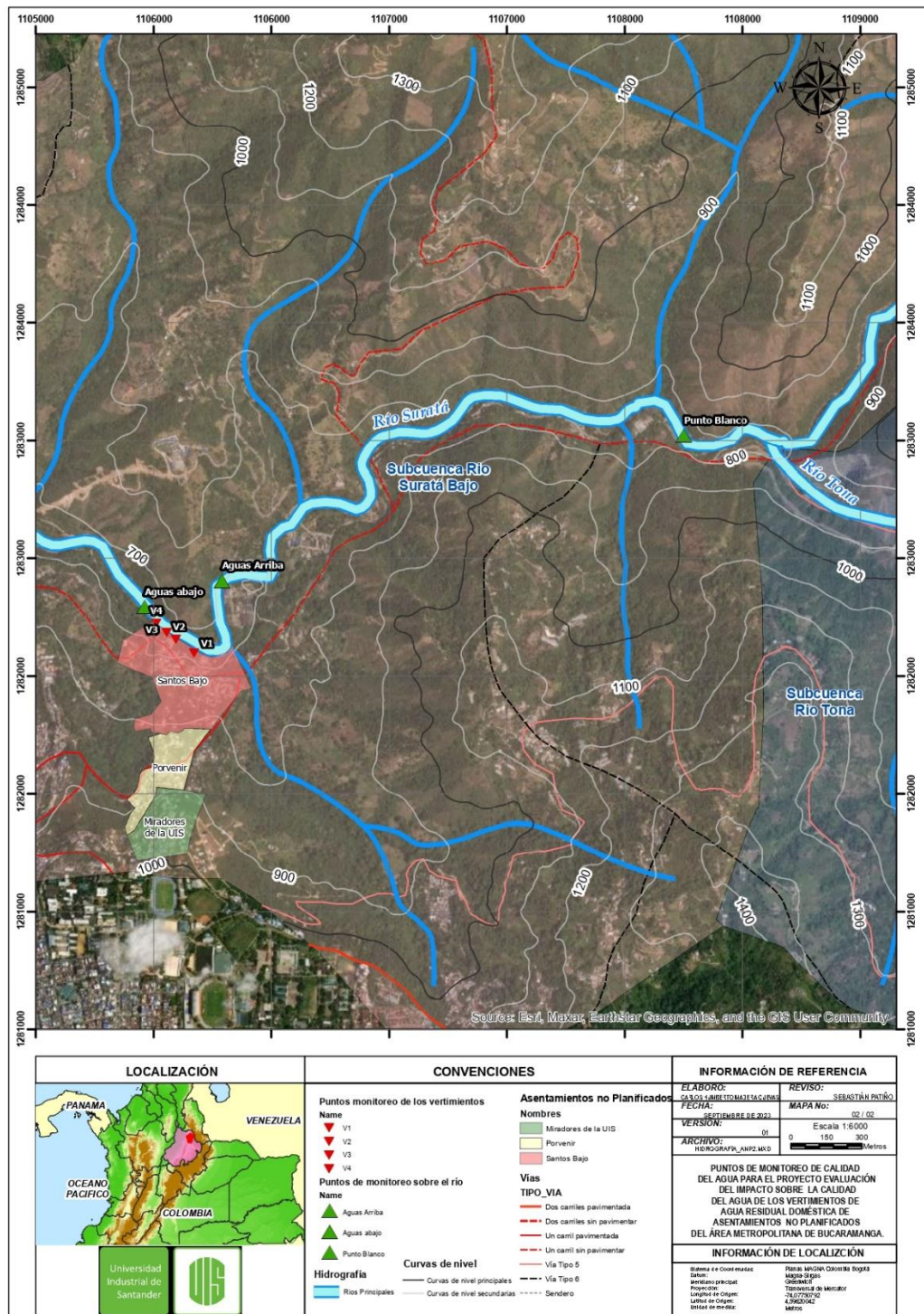


Figura 3. Mapa de los puntos de monitoreo de calidad del agua.

Además, se documentaron características de los puntos de monitoreo como: i. Vertimientos de AR (domésticas e industriales); ii. Actividad productiva: cultivos, pecuarios, avícola, piscícola, porcícola, entre otras; iii. Actividades industriales: fabricas, lavaderos, estaciones de gasolina, entre otras (Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible, 2023).

### ***2.2.3 Fase 2: Análisis fisicoquímico y microbiológico de los vertimientos de aguas residuales.***

Para determinar el impacto sobre la calidad del agua de los vertimientos de AR provenientes del ANP Santos Bajo se monitorearon los puntos identificados en la sección anterior (blanco, agua arriba y aguas abajo) sobre el río Suratá.

***Tabla 3. Parámetros de monitoreo de calidad del agua.***

<b><i>Parámetros</i></b>	<b><i>Método</i></b>	<b><i>Volumen</i></b>	<b><i>Preservación</i></b>
<b><i>In situ</i></b>			
pH	SM 4500 H+B	N/A	N/A
Temperatura	SM 2550 B	N/A	N/A
Conductividad eléctrica	SM 2510	N/A	N/A
Oxígeno disuelto	SM 4500 OG	N/A	N/A
<b><i>Laboratorio</i></b>			
Demanda biológica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	SM 4210 B; SM4500 OH		
Fósforo total	SM 4500-P B, E	2 L	Refrigerar a <6°C
Sólidos suspendidos totales (SST)	SM 2540 D		
Demanda química de oxígeno (DQO)	SM 5220 C	1 L	1ml/L de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> y refrigerar a <6°C
Nitrógeno total	SM 4500 NO <sub>2</sub> B, C		
Coliformes fecales	Método NMP	0.1 L	1 ml/L de Tiosulfato de sodio y refrigerar a <6°C

### 2.2.4 Monitoreo de calidad de agua sobre la corriente

El monitoreo sobre el río Suratá consistió en cuatro salidas de campo entre los días 17- 20 de julio de 2023. El monitoreo inició a las 8:00 a.m. y finalizó a las 4:00 p.m. periodo en el cual se recolectaron nueve alícuotas con una frecuencia de 60 minutos. En estas salidas se realizó un muestreo compuesto que consistió en recolectar alícuotas de 333.33 ml (Ver Ecuación 1) durante ocho horas de muestreo. Posteriormente, de acuerdo con el método de presentación (IDEAM, 2007), se dividió el volumen total de la muestra compuesta en dos recipientes; uno de dos litros y otro de un litro.

$$V_i = \frac{V \cdot Q_i}{n \cdot Q_p} \quad [mL] \quad (1)$$

$V_i$ : volumen de cada alícuota [mL].

$V$ : volumen total a componer [mL].

$Q_i$ : caudal instantáneo en el momento de la toma de la muestra [ $m^3/s$ ].

$Q_p$ : caudal promedio durante el muestreo [ $m^3/s$ ].

$n$ : número de muestras tomadas.

Para la recolección de las muestras el (IDEAM, 2020) recomienda que sobre corrientes superficiales que superen los tres metros de longitud transversal la alícuota debe ser recolectada en tres partes sobre la sección del río:  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de distancia desde la orilla; y a una profundidad de 0.6h (Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible, 2023). Este procedimiento se aplicó sobre todos los puntos de monitoreo sobre el río Suratá (blanco, agua arriba y aguas abajo) (Figura 3).

Adicionalmente, se tomó en cada jornada de monitoreo a las 12:30 m una muestra de coliformes fecales aprovechando el incremento el flujo de agua por la hora pico en el uso de los elementos sanitarios y de drenaje en el hogar durante el día. Dicho parámetro requiere de una toma de muestras especial y la utilización de recipientes de vidrio (IDEAM, 2020) (Tabla 3).

Para la medición del caudal del río Suratá se realizó un aforo por vadeo (Coz et al., 2019), empleando un medidor de flujo electromagnético (HACH OTT MF PRO) y, una cuerda de nylon para dividir la sección transversal del Río en partes iguales de 1 m, a excepción de los tramos donde la velocidad del flujo superó 0.9 m/s en la cual se redujo la separación de la sección a 0.5 m. Finalmente, se realizó la batimetría del lecho en los puntos demarcados en la sección del Río y, se tomó el registro de la velocidad del flujo del agua a una profundidad de 0.6h (Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible, 2023).

De esta forma, se calculó el caudal con los datos de velocidad, profundidad y sección transversal, utilizando la ecuación (2).

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i * V_i \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (2)$$

*i*: Sección *i* – ésima

*Q*: Caudal

*A*: área transversal

*V*: velocidad promedio

### 2.2.5 Monitoreo de los vertimientos

El monitoreo de los vertimientos consistió en tres salidas de campo entre los días 10 – 12 de julio de 2023. El monitoreo inició a las 8:00 a.m. y finalizó a las 4:00 p.m. periodo en el cual se recolectaron trece alícuotas con una frecuencia de 40 min.

En estas salidas se realizó un muestreo compuesto que consistió en recolectar alícuotas de un volumen proporcional al cauce de los vertimientos de AR [1]. Para ello, se halló el caudal en cada vertimiento empleando un aforo volumétrico (Ver Ecuación 3), (Torres Molinares et al., 2006). La toma del caudal por el método volumétrico consistió en adecuar la sección de los vertimientos de AR con una lámina de PVC para evitar infiltraciones y, con ayuda de un balde aforador y un cronómetro de forma sincrónica se recolectó AR en el balde y se contabilizó el tiempo con el cronometro (Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible, 2023).

$$Q = \sum_i^n \frac{Q_i}{n} = \sum_i^n \frac{V_i}{t_i * n} \quad \left[ \frac{L}{s} \right] \quad (3)$$

*i*: *i*-ésima repetición.

*n*: número de repeticiones. *n*=3

*Q*: caudal [L/s].

*V*: volumen [L].

*t*: tiempo [s]

Los procedimientos de preservación y toma de muestras especiales (coliformes fecales) se realizó de manera similar al procedimiento llevado a cabo en la sección 3.3.1.

### **2.3 Fase 3: Determinar el efecto de los vertimientos de agua residual sobre la calidad del agua del río Suratá**

Se utilizó la hoja de cálculo Microsoft Excel ® para procesar los datos obtenidos de los monitoreos. El efecto de los vertimientos de AR sobre la calidad de agua del río Suratá fue evaluado mediante un análisis de estadística descriptiva, análisis de varianza y la prueba de rangos múltiples Tukey.

#### ***2.3.1 Análisis univariado***

Se realizó el análisis de estadística descriptiva en la totalidad de los puntos de monitoreo (vertimiento y sobre el río Suratá), con el propósito de resumir los datos de una manera que sean simple de interpretar y con el objetivo de estimar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2003)

El análisis involucró técnicas de estadística descriptiva como medidas de tendencia central: media aritmética, mediana y moda para resumir, organizar y comunicar la ubicación típica de los datos y facilitar la comparación entre los puntos de monitoreo (vertimiento o sobre el río Suratá). Además, estas medidas de tendencias permiten identificar datos atípicos que se pueden presentar durante la investigación. De igual forma, se incluyeron medidas de desviación estándar, rango y rango intercuartílico que indicaron la variabilidad de los datos, y el cálculo de medidas de posición como los percentiles y cuartiles que dividen los datos en porciones para comprender como se distribuyen los valores a lo largo de una escala (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2003).

### 2.3.1.1 *Análisis de cargas contaminantes de los vertimientos de agua residual*

Se realizó el cálculo de la carga contaminantes (Ver Ecuación 4) de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos totales con el propósito de caracterizar la cantidad y composición de los contaminantes presentes en los vertimientos de AR doméstica.

$$CC = Q * C * 0.0036 * t \quad (4)$$

*CC: Carga contaminante, (kg/día).*

*Q: Caudal promedio de AR, (L/s).*

*C: Concentración del elemento, sustancia o compuesto contaminante, mg/L*

*0.0036: Factor de conversión de unidades, de mg/s a kg/h.*

*t: Tiempo de vertimiento del usuario, horas.*

### 2.3.2 *Análisis de varianza*

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de los datos obtenidos del monitoreo con la finalidad de realizar una comparación entre campañas de monitoreo (vertimientos y puntos sobre el río Suratá). El análisis de varianza tuvo como objetivo probar la hipótesis de igualdad de la media de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos entre campañas de monitoreo y (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2003).

Para el análisis estadístico se utilizó un nivel de significancia del 5%, con el cual se busca un equilibrio entre los posibles errores estadísticos de los datos analizados.

### 2.3.2.1 Comparación de rangos múltiples (Tukey)

Si la hipótesis de igualdad del análisis de varianza es rechazada, se utilizó la prueba de rangos múltiples para encontrar diferencias significativas entre al menos algunos de los puntos de monitoreo, y con ello identificar que pares específicos de medias son significativamente diferentes entre sí.

Con la prueba de Tukey (Ver Ecuación 5) se buscó comparar las diferencias entre medias muestrales con el valor crítico de Tukey, es decir, se identificaron diferencias significativas entre los puntos de monitoreo con intervalos de confianza ajustados para la diferencia entre medias (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2003).

$$Ta = qa(k, n - k) * \sqrt{\frac{CMe}{n}} \quad (5)$$

*CMe: cuadrado medio del error.*

*n: número de observaciones por punto de monitoreo.*

*n: número de puntos de monitoreo*

*n - k: número de grados de libertad para el error.*

*a: nivel de significancia: 5%*

*qa(k, n - k): son puntos porcentuales de la distribución del rango estudentizado*

### 2.3.2.2 Comparación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con el cumplimiento de la normativa colombiana

Se compararon los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos producto de los monitoreos con la normativa colombiana (Resolución 0631 de 2015) para el cumplimiento de los valores límites máximos permisibles (Tabla 4) de vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficial. Además, se comparó con el (Decreto 1594 de 1984) el cual es el reglamento para el uso del agua y residuos líquidos.

**Tabla 4.** Normativa colombiana para usos de aguas superficiales

<b>Parámetros</b>	<b>Norma</b>	
	<b>Art.40, Decreto 1594 de 1984*</b>	<b>RES 0631 de 2015</b>
pH	5.00-9.00	6.00-9.00
Oxígeno disuelto [mg/L O <sub>2</sub> ]	2	-
DQO [mg/L O <sub>2</sub> ]	-	180
DBO <sub>5</sub> [mgO <sub>2</sub> /L]	200	90
Coliformes Fecales [NPM/100 mL]	<1000	-

\*Solo establece normas agrícolas, pero con fines comparativos, se considera los mismos para los diferentes tipos de uso, suponiendo que son de las condiciones más estrictas.

### 2.3.3 Índice de Calidad del Agua

Se realizó el cálculo del índice de calidad del agua (ICA) para siete parámetros (Ver Ecuación 6), con el propósito de establecer el estado actual en condiciones de calidad del tramo (Punto blanco hasta punto aguas abajo) estudiado del río Suratá y evaluar las restricciones de uso luego de su análisis (Torres et al., 2009).

El ICA toma valores entre 0.00 y 1.00, a cada categoría de valores se le asigna una calificación de calidad del agua y una señal de alerta (Tabla 5).

Para el cálculo del ICA se les asignó a los siete parámetros un peso de importancia (Tabla 6), y junto con el indicar para cada parámetro se halló un ICA<sub>i</sub>. Posteriormente, se realizó la sumatoria de todos los ICA<sub>i</sub> para conocer el estado del cuerpo hídrico (Corporación autónoma regional de cundinamarca-CAR, 2021)

$$ICA = \sum_{i=1}^n W_i * I_i \quad (6)$$

ICA: Es el índice de calidad del agua.

W<sub>i</sub>: Es el peso de importancia asignado para cada parámetro.

I<sub>i</sub>: Indicar de cada parámetro, es el valor calculado del parámetro.

**Tabla 5.** Calificación de calidad del agua

<i>Categorías de valores</i>	<i>Calificación de la calidad del agua</i>	<i>Señal de alerta</i>
0.00-0.25	Muy mala	Rojo
0.26-0.50	Mala	Naranja
0.51-0.70	Regular	Amarillo
0.71-0.90	Aceptable	Verde
0.91-1.00	Buena	Azul

**Tabla 6.** Parámetros para el cálculo del ICA

<i>Parámetros</i>	<i>Peso de importancia</i>
Oxígeno disuelto [% de Saturación]	0.16
Sólidos suspendidos totales [mg/L]	0.14
DQO [mg/L]	0.14
Conductividad eléctrica [uS/cm]	0.14
pH	0.14
Relación [nitrógeno / fósforo]	0.14
Coliformes fecales [NMP/100 mL]	0.14

### 3. Resultados

#### 3.1 Fase 0: Revisión de literatura

Como producto de la revisión de literatura se obtuvo un estado del conocimiento, que buscó identificar los conceptos relevantes, enfoques y teorías de la evaluación del impacto de los vertimientos de AR. Además, de indagar sobre las metodologías utilizadas en investigaciones previas (Apéndice A). Por último, la revisión de literatura proporcionó evidencia y datos relevantes que respaldan cada una de las suposiciones relacionadas en la presente investigación (Apéndice B).

De la revisión de literatura se analizó que tan solo el 1.0% del agua presente en el planeta tierra es aprovechable por el ser humano, ya que este porcentaje corresponde a agua dulce que se encuentra en lagos, ríos y aguas subterráneas (Uddin & Jeong, 2021). Por lo tanto, se hace imperativo gestionar y planificar este recurso de manera adecuada para garantizar la sostenibilidad y la supervivencia de la vida en la tierra. Sin embargo, en las últimas décadas, se atestigua una creciente preocupación a nivel global debido a la contaminación de cuerpos hídricos.

Esta preocupación se ha traducido en una creciente cantidad de investigaciones, con más de 200 artículos publicados anualmente sobre el tema. Uno de los aspectos más alarmante de esta problemática es su impacto en la salud humana y el medio ambiente, por ello en 2015 con la aparición de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles, fue cuando las investigaciones en torno a la contaminación del agua superficial experimentaron cambios significativos, abordando problemáticas de salud pública (6.5%) y sostenibilidad ambiental (44.3%) (UN-Water & United Nations, 2018).

Los desafíos globales relacionados con la solución de problemas de salud pública y la sostenibilidad ambiental debido a la mala calidad del agua surgen de la estrecha interacción entre los seres humanos y el medio ambiente. Factores condicionantes como las actividades productivas, la densidad poblacional y la presencia de ANP en las cercanías de cuerpos hídricos; estos factores se combinan para generar graves efectos en la disponibilidad del recurso hídrico, lo que resulta en el deterioro de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del agua (Hahn Von Hessbers et al., 2009).

La falta de saneamiento en zonas que carecen de sistemas de R&T de AR, como lo son los ANP, se convirtió en una fuente importante de contaminación por AR doméstica que se filtran a la aguas superficiales y subterráneas. Como es el caso de (Odai et al., 2013) quien evaluó la gestión de los vertimientos de AR en ANP, donde encontró en Old Fadama (Ghana) evidencia de un deterioro en la calidad de agua por limitadas condiciones de saneamiento e infraestructuras que ayuden a la recolección y transporte de AR.

El estudio en Old Fadama encontró resultados que ilustran las consecuencias de la contaminación de AR domésticas con, altos niveles de DBO<sub>5</sub> (545.63 mg/L) y DQO (1415 mg/L), siendo una amenaza para el medio ambiente acuático por el agotamiento de oxígeno en el agua. También, la presencia de nitrógeno (89.87 mg/L) y fósforo (15.70mg/L) en grandes cantidades con un potencial de perturbar la vida acuática a través del enriquecimiento de nutrientes y promover procesos de eutroficación. Adicionalmente, altos niveles de coliformes totales ( $9 \times 10^6$  CFU/100mL) y E.coli ( $4 \times 10^6$  CFU/100mL) potencialmente adversos para la salud humana, dado que, pueden provocar enfermedades gastrointestinales.

Un fenómeno similar ocurre en la cuenca del río Amajac en México, donde se reciben vertimientos de AR domésticas. (Alvarez et al., 2006) revelaron que el 12% de la cuenca está altamente contaminada, especialmente en términos de los niveles de oxígeno disuelto (0.0%) y la presencia de coliformes fecales ( $2.4 \times 10^4$  NMP/100 mL). En relación con el índice de calidad del agua (ICA), encontraron valores menores a 0.30, volviendo al río Amajac inaceptable para cualquier tipo de uso.

Los hallazgos anteriormente descritos en los estudios de (Alvarez et al., 2006) y (Odai et al., 2013) respaldan el efecto negativo de los vertimientos de AR domésticas sobre la calidad del agua de los cuerpos hídricos receptores que resulta en una degradación de la calidad del agua en las corrientes superficiales, aguas subterráneas y el suelo, lo que altera las condiciones naturales del ecosistema y restringe sus potenciales usos (Alvarez et al., 2006) . Por esta razón, se llevan a cabo campañas de monitoreo de la calidad el agua en los cuerpos hídricos, con el propósito de comprender el estado del recurso hídrico y determinar su potencial uso en beneficio del ser humano.

### **3.2 Fase 1: Diagnósticos de la situación del sistema de recolección y transporte de aguas residuales y elección de los puntos de monitoreo**

El ANP Santos Bajo está situado en el margen izquierdo del río Suratá presenta una alta vulnerabilidad a inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales (POMCA, 2015). En este ANP, se identificó el incumplimiento de los requisitos de las zonas de protección riverieñas, que deberían tener una longitud de 30 metros (Decreto 2811 de 1974). La ubicación de las personas que residen al margen del río Suratá y la presencia de un nacimiento ha generado conflictos socioambientales entre la comunidad y las instituciones gubernamentales, como por ejemplo en la prestación de servicios domiciliarios (gas, electricidad, agua potable y alcantarillado) (POMCA, 2015)

La comunidad de Santos Bajo en vista de que los conflictos socioambientales en su territorio le han imposibilitado la construcción formal de un alcantarillado, en su lugar han desarrollado un sistema de R&T de AR artesanal. Este sistema de R&T de AR cuenta con

características no convencionales, en desacuerdo con la norma técnica colombiana en los requerimientos constructivos mínimos para un alcantarillado (RAS 2000 y NTC 1500). Entre los requerimientos que no se cumplen se encuentra: materiales utilizados, dimensionamiento hidráulico y estructural, mantenimiento de las estructuras y requerimientos de diseño (pendiente, arrastre de sólidos, entre otros) (Figura 2).

Algunos aspectos que se evidenciaron durante los recorridos a las estructuras del sistema de R&T de AR del ANP fueron (RAS, 2016):

i. Las tuberías no cumplen con los diámetros acordes para garantizar un flujo libre de agua entre cámaras de conexión y garantizar que no se encuentren obstrucciones en el paso del agua.

ii. Las cámaras de inspección no cumplen con las dimensiones para garantizar la realización de operaciones de mantenimiento, rehabilitación y renovación del sistema de R&T.

iii. Los materiales utilizados no son los recomendados dado que se construye en ladrillo las cámaras de inspección: 14/18 cámaras.

iv. Una cámara de conexión (CP12) presentaba un flujo de AR a presión por la disminución de los diámetros en sus tuberías (Figura 2).

v. Ninguna cámara de conexión cumple con el diámetro interno mínimo de estructuras de conexión, el cuales 1.2 metros.

vi. La instalación de las tuberías del sistema de R&T no cumple con la profundidad mínima establecida en 0.75 metros (RAS, 2016).

vii. No se cuenta con ningún tipo de impermeabilización a las estructuras del sistema de R&T para evitar fugas de AR.

Para la elección de los puntos de monitoreo se identificó un total de 18 vertimientos de AR llevados a cabo por los residentes del ANP Santos Bajo. De estos, siete son vertimientos directos de AR al río Suratá, cinco corresponde a vertimientos de AR al suelo y seis son vertimientos de AR a dos quebradas que atraviesan Santos Bajo (Figura 2). Al concluir el recorrido y la documentación de las características de los vertimientos de AR se seleccionaron cuatro puntos representativos para realizar el monitoreo de los vertimientos de AR (Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible, 2023).

Finalmente, fueron seleccionados tres puntos representativos sobre el río Suratá (punto blanco, aguas arriba y aguas abajo) (Figura 3) sobre los cuales se monitoreó la calidad del agua bajo la metodología aguas arriba-abajo. Esta metodología permitió analizar la variación de la calidad del agua a partir de la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológico. Donde los puntos aguas arriba y aguas abajo fueron ubicados antes y después del ANP Santos Bajo lo cual permitió asociar los cambios en la calidad del agua, con los vertimientos de AR provenientes del asentamiento objeto de estudio (USDA, 2003).

### **3.3 Fase 2: Análisis de parámetros fisicoquímicas y microbiológicas de los vertimientos de aguas residuales**

La Tabla 7 presenta las características fisicoquímicas y microbiológicas de los vertimientos de AR doméstica del ANP Santos Bajo. Se puede observar que el pH entre los vertimientos se caracterizó por tener valores próximos a la neutralidad (7.47 y 7.81), aunque se evidenciaron diferencias significativas entre los vertimientos 1 y 4. Los valores de pH obtenidos en este estudio, son similares a los reportados (Bruce & Carreño, 2014) para AR domésticas, que estuvieron en el rango de 6.43 a 7.07. Esto sugiere que el pH de los vertimientos se puede asociar a AR domésticas.

Respecto a la conductividad eléctrica se encontraron valores próximos a los aceptables máximos para el agua potable ( $<1000$  uS/cm) (Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente Vivienda, 2007) y se evidenciaron diferencias significativas entre los vertimientos. Destacó el vertimiento 4 como punto de mayor conductividad (879.08 uS/cm) asociado posiblemente a una alta concentración de iones solubles presentes en las AR domésticas.

Los valores de oxígeno disuelto fueron atípicos a los presentes en AR domésticas. (Odai et al., 2013) en su estudio tuvo AR cercanas a la anoxia debido a los altos niveles de materia orgánica y los bajos niveles de oxígeno disuelto ( $<0.01$  mgO<sub>2</sub>/L), con características de color negro acompañado de mal olor (Spellman, 2003). Por otro lado, los valores de oxígeno disuelto que están por debajo de 5 mg/L pueden generar efectos adversos sobre la biota acuática impidiendo la biodiversidad y la vida acuática de cuerpos hídricos adyacentes (Barba et al., 2010), como sucedió en la presente investigación (4.25-6.63 mgO<sub>2</sub>/L).

A pesar de que los sólidos suspendidos totales muestran diferencias significativas entre los puntos de monitoreo de vertimientos de AR, lo cual es evidente ya que el vertimiento 4 presenta un aumento significativo, siendo más de tres veces superior a la suma de los vertimientos 1, 2 y 3. Esta situación plantea la posibilidad de una acumulación de sedimentos y la degradación de los hábitats acuáticos una vez que estos contaminantes llegan al río.

La DBO<sub>5</sub> se utiliza frecuentemente como indicador del nivel de contaminación de agua por materia orgánica (Avecillas, 2014). Los datos obtenidos de este estudio muestran una concentración de DBO<sub>5</sub> inferior en comparación con el estudio de (Odai et al., 2013), quienes reportaron valores para este parámetro en el orden de 546 mg/L. Además, en conjunto con los bajos niveles de oxígeno disuelto (<0.01 mg/L), estas concentraciones podrían estar relacionadas con una alta actividad biológica y representa un potencial riesgo para el entorno acuático.

La carga contaminante de DQO y DBO<sub>5</sub> del vertimiento 4 representa un 69 y 70%, respectivamente, de la carga contaminante de estos parámetros en los vertimientos de AR realizados por el ANP. Sin embargo, fue en el vertimiento 2 donde se presentó indicios de materia orgánica recalcitrante (Anaya, 2012). La relación DBO<sub>5</sub>/DQO confirma una baja biodegradabilidad con un valor de 0.412, lo que sugiere presencia de sustancias químicas que no se degradan fácilmente como algunos productos farmacéuticos y productos de cuidado personal (Anaya, 2012).

A pesar de que la concentración promedio de fósforo total en todos los puntos de monitoreo no exceden 10 mg/L, límite para garantizar la vida acuática (Enderlein et al., 1999), el efecto en combinación con nutrientes como el nitrógeno, puede biomagnificar el grado de contaminación y producir procesos de eutroficación. El suelo agrícola en el ANP solo representa el 12% (POMCA, 2015), por lo que la contaminación difusa agrícola no podría ser la fuente principal de contaminación, siendo posible que los vertimientos de AR doméstica sean el origen de contaminación.

Los Coliformes fecales como parámetro microbiológico no mostró diferencias significativas entre los puntos de muestreo ( $p=0.724$ ). El valor de coliformes fecales se encuentra por encima del rango permitido para vertimientos de AR doméstica en Colombia (Decreto 1594 de 1984).

**Tabla 7.** Relación de resultados de estadística descriptiva de los vertimientos de AR realizados por el ANP

<i>Parámetros</i>	<i>Vertimiento 1</i>	<i>Vertimiento 2</i>	<i>Vertimiento 3</i>	<i>Vertimiento 4</i>
<i>pH</i>	$7.47 \pm 0.416$	$7.64 \pm 0.454$	$7.62 \pm 0.313$	$7.81 \pm 0.134$
<i>Conductividad eléctrica [uS/cm]</i>	$692 \pm 88.9$	$441 \pm 268$	$259 \pm 119$	$879 \pm 106$
<i>Temperatura [°C]</i>	$24.9 \pm 1.06$	$26.7 \pm 1.43$	$26.3 \pm 0.960$	$24.8 \pm 0.995$
<i>Oxígeno disuelto [mg/L]</i>	$4.25 \pm 0.869$	$6.19 \pm 0.437$	$6.63 \pm 0.396$	$4.94 \pm 1.19^a$
<i>Sólidos suspendidos totales [mg/L]</i>	$53.0 \pm 34.6$	$31.6 \pm 13.2$	$39.6 \pm 34.0$	$30.3 \pm 7.37$
<i>DQO [mg/L O<sub>2</sub>]</i>	$300 \pm 40.2$	$237 \pm 62.2$	$140 \pm 155$	$209 \pm 8.08$
<i>DBO<sub>5</sub> [mg/L O<sub>2</sub>]</i>	$129 \pm 28.7$	$98.0 \pm 16.0$	$69.3 \pm 48.2$	$91.6 \pm 2.31$
<i>Nitrógeno Total [mg/L N]</i>	$22.6 \pm 2.08$	$16.3 \pm 4.51$	$10.6 \pm 3.79$	$49.3 \pm 5.51$
<i>Fósforo Total [mg/L P]</i>	$3.03 \pm 1.06$	$1.90 \pm 2.10$	$2.53 \pm 3.35$	$4.90 \pm 3.65$
<i>Coliformes fecales [NMP/100 mL]*10<sup>6</sup></i>	$5.48 \pm 9.11$	$3.41 \pm 5.03$	$2.85 \pm 2.53$	$43.3 \pm 45.2$
<i>Caudal [L/s]</i>	0.721	0.812	0.037	4.38

*Se presentan la comparativa de resultados estadísticos de media  $\pm$  la desviación estándar.*

**Tabla 8.** Cargas contaminantes de los vertimientos de AR

<i>Parámetros</i>	<i>Vertimiento 1</i>	<i>Vertimiento 2</i>	<i>Vertimiento 3</i>	<i>Vertimiento 4</i>
<i>Sólidos suspendidos totales</i>	$3.29 \pm 2.15^a$	$2.21 \pm 0.924^a$	$0.123 \pm 0.106^a$	$11.3 \pm 2.77^c$
<i>DBO<sub>5</sub></i>	$8.05 \pm 1.79^a$	$6.86 \pm 1.13^a$	$0.216 \pm 0.150^b$	$34.4 \pm 0.868^c$
<i>DQO</i>	$18.6 \pm 2.51^a$	$16.6 \pm 4.36^a$	$0.436 \pm 0.484^b$	$78.6 \pm 3.03^c$
<i>Nitrógeno Total</i>	$1.41 \pm 0.129^a$	$1.14 \pm 0.316^a$	$0.033 \pm 0.012^a$	$18.5 \pm 2.07^a$
<i>Fósforo Total</i>	$0.188 \pm 0.006^a$	$0.133 \pm 0.147^a$	$0.008 \pm 0.010^a$	$1.84 \pm 1.37^b$

*Los parámetros aquí mostrados tienen como unidad de medida, kg/ día*

*Se presentan la comparativa de resultados estadísticos de media  $\pm$  la desviación estándar*

*Se asignaron letras iguales a los datos de los puntos de monitoreo que no tienen diferencias significativas entre sus medias.*

### **3.4 Fase 3: Determinar el efecto de los vertimientos de agua residual sobre la calidad del agua del río Surata.**

La Tabla 9 presenta las características fisicoquímicas y microbiológicas de los puntos de monitoreo de calidad del agua sobre el río Suratá. En ella, se observa que el pH entre los puntos de monitoreo se caracterizó por tener valores promedios de un pH alcalino (pH=8.00), aunque se evidenciaron diferencias significativas entre cada uno de los puntos de monitoreo. Los valores de pH obtenidos en este estudio sobre el río Suratá oscilaron entre 7.82 y 8.28, los cuales cumplen con la reglamentación colombiana para uso del agua en actividades agrícola (Decreto 1594 de 1984).

La temperatura de las aguas superficiales está directamente influenciada por la temperatura del aire. Siendo notorio un aumento de temperatura a lo largo de los puntos de monitoreo (Tabla 9), que se atribuye al cambio en la altitud de los diferentes puntos de monitoreo (Chávez & Jaramillo, 1998) . Donde el punto blanco se ubica en una altitud de 757.43 m.s.n.m y el punto aguas abajo a una altitud de 670.42 m.s.n.m.

En cuanto a la concentración de oxígeno disuelto, se observaron diferencias significativas entre los puntos de monitoreo a lo largo del río Suratá. Es evidente una disminución de este parámetro en el punto de monitoreo aguas abajo, lo cual puede atribuirse al aumento de contaminación por materia orgánica (Montalvo & Garcia, 2008). Además, esta disminución podría estar relacionada con el consumo de oxígeno por parte de microorganismos (Peña, 2006). Sin embargo, todos los puntos de monitoreo arrojaron valores superiores a de 5 mg O<sub>2</sub>/L, los cuales se consideran aceptables para permitir la vida de la mayoría de las especies acuáticas del río (Clavijo & Granjas, 2016).

La conductividad eléctrica está directamente relacionada con los sólidos suspendidos totales, ya que estos últimos comprenden una parte de los materiales que conducen electricidad en los cuerpos de agua. Entre los sólidos suspendidos totales se incluyen todas las sales inorgánicas, como calcio, magnesio, potasio, sodio y materia orgánica disuelta (WHO, 1996). Esto se ilustra en el estudio de (Olivero & Mercado, 2013), quienes detectaron niveles elevados de conductividad eléctrica (151.5 uS/cm) y sólidos suspendidos totales (72.22 mg/L) en el río Magdalena, lo que sugiere la presencia de vertimientos de AR doméstica.

Los parámetros DBO<sub>5</sub> y DQO no mostraron diferencias significativas ( $p=0.38$ ), lo que permitió llevar a cabo una comparación conjunta de los puntos de monitoreo a lo largo del río Suratá. (Garrido Pérez et al., 2006) propusieron una escala para evaluar el grado de contaminación basándose en los valores de DBO<sub>5</sub> y DQO. Según esta escala, los puntos de monitoreo presentan valores entre  $6 < \text{DBO}_5 < 30 \text{ mgO}_2/\text{L}$  y  $20 < \text{DQO} < 40 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , lo que la ubica dentro de la categoría de agua superficiales con indicios de contaminación. Sin embargo, todavía es posible que el agua superficial pueda llevar a cabo procesos de autodepuración (Anaya, 2012).

En lo que respecta al nitrógeno total, se aprecia un incremento en su concentración en el punto aguas abajo, alcanzando un valor de 11.25 mg/L. Este aumento en concentración podría atribuirse a la presencia de desechos de animales, como el estiércol, los vertimientos de AR domésticas o el uso de fertilizantes en la agricultura, todos ellos aportando nutrientes al río (Aguilar & Solano, 2018). De manera similar, se observa un patrón en el caso del fósforo total, donde se observa un incremento dos veces mayor en el punto de monitoreo aguas abajo en comparación con los otros puntos de monitoreo, que podría estar relacionado con las prácticas agrícolas que involucran el uso de fertilizantes. Resultados similares son reportados por (Seymenov, 2022) en Bulgaria, donde valores elevados de fosforo ( $<0.15$  mg/L) pueden provocar un crecimiento excesivo de algas, generando cambios estructurales en los ecosistemas acuáticos y conllevar a problemas de eutroficación (Seymenov, 2022).

La manifestación de una contaminación fecal constituye una señal de alarma (Li & Migliaccio, 2010), donde para los coliformes fecales no se presentaron diferencias significativas entre los puntos de monitoreo ( $p=0.24$ ); sin embargo, se observan un aumento en la concentración de coliformes al pasar del punto blanco al punto aguas arriba. Lo cual puede indicar presencia de impactos contaminantes antes del paso del ANP. Los valores de coliformes fecales encontrados son del orden de  $3.47 \times 10^4$  a  $4.40 \times 10^4$  NMP/100 mL, superando significativamente ( $<1000$  NMP/100mL) la normativa colombiana (Decreto 1594 de 1984) para cualquier uso de se le dispongo al recurso hídrico sin un debido tratamiento.

**Tabla 9.** Relación de resultados de estadística descriptiva de los puntos de monitoreo sobre el río Suratá

<i>Parámetros</i>	<i>Punto blanco</i>	<i>P.Aguas arriba</i>	<i>P.Aguas abajo</i>
<i>pH</i>	8.28 ± 0.16 <sup>a</sup>	8.13 ± 0.10 <sup>b</sup>	7.82 ± 0.13 <sup>c</sup>
<i>Conductividad eléctrica [uS/cm]</i>	160.2 ± 6.63 <sup>a</sup>	139.5 ± 10.0 <sup>b</sup>	202.6 ± 43.0 <sup>c</sup>
<i>Temperatura [°C]</i>	22.2 ± 1.14 <sup>a</sup>	23.9 ± 1.47 <sup>b</sup>	23.0 ± 0.96 <sup>c</sup>
<i>Oxígeno disuelto [mg/L]</i>	7.86 ± 0.26 <sup>a</sup>	8.28 ± 0.26 <sup>b</sup>	6.82 ± 0.39 <sup>c</sup>
<i>Sólidos suspendidas totales [mg/L]</i>	20.5 ± 1.00 <sup>a</sup>	21.5 ± 3.00 <sup>a</sup>	22.7 ± 3.20 <sup>a</sup>
<i>DQO [mg/L O<sub>2</sub>]</i>	21.2 ± 2.87 <sup>a</sup>	14.0 ± 6.05 <sup>a</sup>	36.5 ± 37.7 <sup>a</sup>
<i>DBO<sub>5</sub> [mg/L O<sub>2</sub>]</i>	10.5 ± 1.91 <sup>a</sup>	5.75 ± 2.21 <sup>a</sup>	20.5 ± 24.8 <sup>a</sup>
<i>Nitrógeno Total [mg/L N]</i>	3.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	3.00 ± 0.00 <sup>a</sup>	11.2 ± 16.5 <sup>a</sup>
<i>Fósforo Total [mg/L P]</i>	0.10 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.10 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.20 ± 0.11 <sup>b</sup>
<i>Coliformes fecales [NMP/100 mL]*10<sup>4</sup></i>	347 ± 408 <sup>a</sup>	3.24 ± 4.17 <sup>a</sup>	4.40 ± 3.69 <sup>a</sup>

*\*Se presenten la comparativa de resultados estadísticos de media ± la desviación estándar*

*Se asignaron letras iguales a los datos de los puntos de monitoreo que no tienen diferencias significativas entre sus medias.*

Respecto al índice de calidad del agua (ICA) el río Suratá muestra indicios de contaminación antes de su llega al ANP objeto de estudio, con valores de 0.59 y 0.63 entre los puntos blanco y aguas arriba. Según la escala de calificación del (IDEAM, 2011) este tramo del Río Suratá se encuentra con una calificación regular. De esta forma, el deterioro del ICA en el punto aguas abajo está relacionado directamente al efecto de los vertimientos de AR domésticos provenientes del ANP Santos Bajo. Sin embargo, su efecto no es tan significativo para cambiar su estado de calificación regular.

**Tabla 10.** Índice de calidad del agua (ICA)

	<i>Punto Blanco</i>	<i>Punto agua arriba</i>	<i>Punto aguas abajo</i>
<i>ICA</i>	0.59	0.63	0.55
<i>Calificación</i>	Regular	Regular	Regular

#### 4. Conclusiones

- En términos generales, los puntos de monitoreo que presentan menores impactos de contaminación son el vertimiento 1, vertimiento 2, vertimiento 3, localizados en Santos Bajo. Sin embargo, presentan indicios de contaminación por AR domésticas, con valores de coliformes fecales entre  $2.85 \times 10^6$  y  $5.48 \times 10^6$  NMP/100mL, resaltando el impacto que tiene la disposición final de residuos líquidos del ANP sobre el río Suratá.
- El punto de monitoreo que presentan mayor impacto de contaminación es el vertimiento 4 por la cantidad de agua que drena (4.38 L/s), evidente en la carga contaminante que genera sobre el río Suratá (e.g.  $DBO_5 = 34.4$  Kg/día;  $DQO = 78.6$  Kg/día, Nitrógeno total = 18.5 Kg/día). Por este motivo, es importante aunar esfuerzos para una eficiente planeación del territorio y evitar el crecimiento desproporcionado de los ANP.
- Si bien hay un deterioro en la calidad del agua del río Suratá según el ICA producto del ANP Santos bajo ( $\Delta = -0.08$ ). La principal fuente de contaminación del río Suratá proviene de otras actividades antrópicas aguas arriba principalmente: minería, agricultura y asentamientos humanos. Teniendo como evidencia el ICA en el punto de monitoreo blanco: 0.59.
- El ICA en el trayecto objeto de estudio (desde el punto blanco hasta el punto aguas abajo), tiene un estado regular (ICA=0.55). Sin embargo, la CDMB reportó en el 2015 para todo el río Suratá un estado bueno y óptimo. Lo cual evidencia el deterioro de la calidad del agua sobre el río Suratá asociado posiblemente al incremento de las actividades antrópicas y crecimiento de la población de las áreas circundantes al río Suratá.

## **5. Recomendaciones**

De la presente investigación se recomienda realizar muestreos integrados sobre el río Suratá y afluentes principales. Todo esto con el objetivo de estudiar de forma detallada la asimilación de contaminantes del efluente hídrico. Así mismo, evaluar de forma continua el impacto del vertimiento constante de aguas residuales provenientes del ANP objeto de estudio.

## 6. Referencias bibliográficas

- Aguilar, S., & Solano, G. (2018). *Aguas residuales, Villavicencio Meta*.
- Alvarez, A., Rubiños Panta, E., Gavi Reyes, F., José Alarcón Cabañero, J., Hernández Acosta, E., Ramírez Ayala, C., Mejía Saenz, E., Pedrero Salcedo, F., Nicolas Nicolas, E., & Salazar Sosa, E. (2006). *55º Aniversario Revista Internacional de*.
- Anaya, J. (2012). *Análisis de la calidad del agua del río de Oro aplicando índices de contaminación*.
- Avecillas, L. (2014). *Caracterización fisicoquímica del Estero Salado entre el puente de avenida Kennedy y el puente 5 de junio efectuado en el período agosto-octubre del año 2012*.
- Barba, L., Gutiérrez, H., Oviedo, E., Narváez, J., Amézquita, C., Bedoya, D., Valdez, J., Londoño, J., Murillo, P., Daza, M., Barroso, F., Aucenon, F., & Moncayo, R. (2010). *Identificación de los responsables por vertimientos, captaciones de agua, riesgos y vulnerabilidad en el río Lili, la quebrada Gualí y el Zanjón del Burro, en el área urbana de Santiago de Cali*.
- Bruce, R., & Carreño, m. (2014). *Diagnóstico actual del manejo de vertimientos domésticos generados en la sede Usme de la Universidad Antonio Nariño*.
- Chávez, B., & Jaramillo, A. (1998). *Regionalización de la temperatura del aire en Colombia*.
- Clavijo, A., & Granjas, K. (2016). *Análisis del estado de conservación ambiental de la microcuenca del Río Chamachán en la parroquia Mariano Acosta, provincia de Imbabura, a través de indicadores físicos, bióticos y socioeconómicos*.
- Corporación autónoma regional de cundinamarca-CAR. (2021). *Boletín del índice de calidad del agua- ICA 2020*.

- Coz, J. Le, Camenen, B., Peyrard, X., & Dramais, G. (2019). *Manual para la realización aforos caudal fuentes superficiales*.
- Enderlein, U., Williams, P., & Enderlein, R. (1999). *Control de la contaminación del agua, "Requisitos de la calidad del agua."*
- Garrido Pérez, A., Luis, J., Damián, P., Enríquez, C., Noemí, G., González, L., Esmeralda, A., Arista, Z., Cotler, H., Marisa, Á. •, Hiriart, M., De Anda Sánchez, J., Mejía, E., Rosales, F., Rojas, J., & Molina, C. (2006). *Atlas de la cuenca Lerma-Chapala*.
- Grupo de investigación en recursos hídricos y saneamiento ambiental, & Observatorio regional de desarrollo humano sostenible. (2023). Documento de análisis del impacto de los vertimientos de aguas residuales de asentamientos periurbanos no planificados sobre el suministro de las cuencas receptoras de tres comunidades caso de estudio. *Documento No Publicado* .
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2003). *Análisis y diseño de experimentos*.  
[www.FreeLibros.org](http://www.FreeLibros.org)
- Hahn Von Hessbers, C., Toro, D., Grajales, A., Duque, G., & Serna, L. (2009). *Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y fisicoquímicos*.
- IDEAM. (2007). *Toma de muestras de agua residual - Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales*.
- IDEAM. (2011). *Subdirección de hidrología y subdirección de ecosistemas e información ambiental, ficha metodológica para el cálculo del índice de calidad del agua (ICA)*.
- IDEAM. (2016). *Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas*.
- IDEAM. (2020). *Instructivo de toma y preservación de muestras sedimentos y agua superficial para la red de monitoreo de calidad del IDEAM*.

- Katukiza, A. Y., Ronteltap, M., Niwagaba, C. B., Kansime, F., & Lens, P. N. L. (2014). Grey water treatment in urban slums by a filtration system: Optimisation of the filtration medium. *Journal of Environmental Management*, *146*, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.033>
- Li, Y., & Migliaccio, K. (2010). *Water quality concepts, sampling and analyses*.
- McGhee, T. (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado, ingeniería ambiental*.
- Montalvo, J., & Garcia, L. (2008). *Oxígeno disuelto y materia orgánica en cuerpos de agua interiores del archipiélago Sabana-Camagúey, Cuba*.
- Morán, F. (2014). *Evaluación ambiental de la calidad del agua del río Santa Rosa y lineamientos para un plan ambiental*.
- Odai, I. N., Buamah, S. N., Awuah, R., & Nyenje, E. M. (2013). Environmental impacts of wastewater from urban slums: case study-Old Fadama Environmental impacts of wastewater from urban slums: case study-Old Fadama, Accra. In *International Journal of Development and Sustainability* (Vol. 2, Issue 2). [www.isdsnet.com/ijds](http://www.isdsnet.com/ijds)
- Olivero, R., & Mercado, I. (2013). *Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica**.
- ONU. (2022). *Desafíos globales - Población*.
- Peña, O. (2006). *Evaluación fisico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba)*.
- Pérez, G., & Restrepo, J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*.
- POMCA. (2015). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica Río Alto Lebrija*.
- RAS. (2016). *Título D del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*.

- Salazar, D. (2015). *Estudio de impacto ambiental generado por vertimientos provenientes de un establecimiento penitenciario de orden nacional al recurso hidrico.*
- Seymenov, K. (2022). An Example of the Adverse Impacts of Various Anthropogenic Activities on Aquatic Bodies: Water Quality Assessment of the Provadiyska River (Northeastern Bulgaria). *Geographica Pannonica*, 26(2), 142–151. <https://doi.org/10.5937/gp26-38196>
- Spellman, R. (2003). *Manual de operaciones de plantas de tratamiento de aguas y aguas residuales .*
- Torres Molinares, C., Vega, D., & Garibaldi, O. (2006). *Procedimiento para la Prueba de Aforo Volumétrico.*
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). *Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano.*
- Uddin, M. J., & Jeong, Y. K. (2021). Urban river pollution in Bangladesh during last 40 years: potential public health and ecological risk, present policy, and future prospects toward smart water management. In *Heliyon* (Vol. 7, Issue 2). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06107>
- Un-Habitat. (2013). *The challenge of slums.*
- UN-Water, & United Nations. (2018). *Sustainable development goal. 6, Synthesis report 2018 on water and sanitation.*
- USDA. (2003). *National water quality handbook.*
- Valencia, D. (2011). *Macroinvertebrados acuáticos epicontinentales y calidad biológica del agua del río Jordán, Jamundi .*
- Welch, E., & Lindell, T. (2004). *Ecological effects of wastewater applied limnology and pollutant effects.*

WHO. (1996). *Total dissolved solids in Drinking-water*.

Yana, E. (2014). *Contaminación por materia orgánica en el río torococha de la ciudad de Juliana*.

## 7. Apéndices

### Apéndice A. Resultados de metodología, objetivo y fuente de contaminación de la revisión de literatura

ID	Autor	Titulo	País	Metodología (frecuencia, número de muestras)	Objetivo	Fuente de contaminación	
						Domestica	Industrial
1	Kalin Seymenova	Un ejemplo de los impactos adversos de diversas actividades antropogénicas en los cuerpos acuáticos: evaluación de la calidad del agua del río Provadiyska (noreste de Bulgaria)	Bulgaria	Compuesta (cuatro veces en el año ,40)	Evaluar el estado de la calidad del agua del río Provadisyska con el ICA	X	X
2	Yilmaz, E	Un estudio sobre la evaluación del estado de la calidad del agua del río Büyük Menderes, Turquía	Turquía	Compuesta (cada mes, 120)	Evaluar el estado de la calidad del agua del río Buyuk, Menderes	X	X
3	Gokce Tezcanli	Evaluación del perfil de contaminación en la cuenca de Buyukcekmece	Turquía	Compuesta (cada mes)	Cambios en la calidad del agua en el lago Buyukcekmece, evaluar el impacto de las prácticas de uso de la tierra.	X	X
4	Handan Aydin	Evaluación de la calidad del agua de los arroyos en el noreste de Turquía por índice de calidad del agua y múltiples métodos estadísticos	Turquía	Compuesta (cada mes)	Cambios espaciotemporales en la calidad del agua de siete ríos del noreste de Turquía	X	
5	H.Ullah	Evaluación química métrica de la distribución de metales pesados en suelos irrigados con aguas residuales del área periurbana	Pakistán	Compuesta (-,36)	Evaluación de la distribución de metales pesados	X	X
6	HS Lim, LY Lee y SE Bramono	Sistemas comunitarios de tratamiento de aguas residuales y calidad del agua de una aldea de Indonesia	Indonesia	Puntual (-,28)	Examinar el impacto de los sistemas comunitarios de tratamiento de agua en la calidad del agua en una aldea periurbana en Indonesia	X	X
7	AY Katukiza	Tratamiento de aguas grises en barrios marginales urbanos mediante un sistema de filtración: Optimización del medio de filtración	Uganda	Puntual (cada 2 días, 30)	Simulación del tratamiento de aguas grises mediante filtración	X	
88	Shambam Zafar	Evaluación del impacto de la descarga de efluentes en la calidad del agua de riego en	Pakistán	Compuesta (,36)	Investigar la calidad química y el alcance de la contaminación en el	X	X

ID	Autor	Titulo	País	Metodología (frecuencia, número de muestras)	Objetivo	Fuente de contaminación	
						Domestica	Industrial
		la región sur de Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan			agua de riego contaminada con efluentes		
99	Chongwei Li	Caracterización de las correlaciones heterogéneas entre los patrones del paisaje y las variaciones estacionales de nitrógeno total y fosforo total en una cuenca periurbana	China	Compuesta (cada mes, 957)	La influencia significativa en la ocurrencia, migración y transformación de contaminantes, como Nitrógeno y el fosforo en los ríos.	X	
10	Tula M. Ngasala	Impacto de los pozos domésticos y el entorno hidrogeológico en la calidad del agua en la zona periurbana de Dar es Salaam, Tanzania	Tanzania	Compuesta (cada mes, 71)	Identificar las fuentes de contaminación del agua de pozo doméstico y evaluar la relación y asociación de la contaminación del agua	X	
11	Dana Hubelova	Influencia de la actividad humana sobre la calidad del agua superficial en Moravian, Karst	Republica checa	Compuesta (-,70)	Evolución de los impactos humanos sobre la calidad del agua	X	
12	Mond Yawar Ali Khan	Monitoreo del impacto espaciotemporal de pequeños afluentes sobre las características hidro químicas del río Ramganga	India	Compuesta (-, 10)	Determinar el deterioro de la calidad del agua superficial debido a la rápida industrialización y urbanización	X	X
13	Carmen Delgado	Bacterias multirresistentes aisladas de aguas superficiales en el parque nacional Bassaseachic Falls	México	Compuesta (cada estacionalidad, 49)	Detectar microorganismos enteropatógenos responsables de brotes diarreicos		
14	Adem Bayram	Influencia reciproca de la presa de Kurtun y las aguas residuales de los asentamientos en la calidad del agua en el arroyo Harsit	Turquía	Compuesta (cada 15 días, 50)	Revelar la influencia reciproca de la presa Kurtun y las AR de los asentamientos sobre la calidad del agua en el arroyo Harsit	X	
15	Qing Li Zhang	Calidad del agua superficial de zonas periurbanas basadas en fábricas y vegetales	China	Compuesta (cada 15 días, 30)	Estudios de las aguas superficiales en dos áreas periurbanas contrastantes en la región del delta del río Yangtze para determinar la distribución de metales pesados	X	
116	Babalwa Gqomfa	El impacto de los asentamientos informales en calidad del agua del río Diep	Sudáfrica	Compuesta (-,6)	Investigar el impacto del asentamiento informal de Dunoon en la calidad del agua del río Diep		X
117	Azni Idris	La importancia del sullage (aguas grises) - tratamiento del agua en la restauración y conservación de arroyos urbanos)	Malasia	Compuesta (cada 15 minutos, 100)	Determinar las características de contaminación del Sullage de una zona residencial donde son desechadas a un arroyo urbano sin tratamiento y evaluar sus probables consecuencias sobre la calidad del agua de los arroyos urbanos	X	

ID	Autor	Titulo	País	Metodología (frecuencia, número de muestras)	Objetivo	Fuente de contaminación	
						Domestica	Industrial
18	Stambuk - Giljanovic	La carga contaminante por nitrógeno y fosforo en el río Cetina	Croacia	Compuesta (12 veces al mes,9)	Registrar características y propiedades específicas de las aguas de Cetina en nueve estaciones	X	
19	Petro Judová	Calidad del agua en las zonas rurales de la Republica Checa: estudio clave de la cuenca del río Slapanka	Republica checa	Compuesta (12 durante el periodo de monitoreo, 11)	Evaluar la calidad del agua en las zonas rurales de la parte checa de la cuenca del río Labe utilizando el ejemplo de la cuenca del río Slapanka	X	
20	Salam M.A	Evaluación de la calidad del agua del río Perak	Malasia	Compuesta (-,45)	Evaluar el estado de los parámetros físicoquímicos y metales pesados para comprender la calidad del agua en la cuenca del río Perak	X	

**Apéndice B.** Resultados de parámetros de calidad del agua producto de la revisión de literatura

<i>ID</i>	<i>DBO<sub>5</sub></i> <i>(mg/L</i> <i>O<sub>2</sub>)</i>	<i>DQO</i> <i>(mg/L</i> <i>O<sub>2</sub>)</i>	<i>Oxígeno</i> <i>disuelto</i> <i>(mg/L)</i>	<i>Nitratos</i> <i>(mg/L)</i>	<i>pH</i>	<i>C.</i> <i>eléctrica</i> <i>[uS/cm]</i>	<i>Fósforo</i> <i>Total (mg/L</i> <i>P)</i>	<i>Temperatura</i> <i>[°C]</i>	<i>Nitrógeno</i> <i>Total (mg/L</i> <i>N)</i>	<i>Sólidos</i> <i>Totales</i> <i>(mg/L)</i>	<i>Coliformes</i> <i>fecales</i>
1	4.5			8.24	8.25	638	0.13		9.18		
2			7.28	2.07	8.03	1150.78					
3	8	25	10.4	0.86	8		0.7	13.5			4016
4	1.51		10.6	1.95	8.58	169	1.11	14.2			
5					8.38	95				412.21	
6		45.31		2.4			0.33				
7	1354	5470	2.2	3.8	7.6	2067	2.9	25	58.5		4.20x10 <sup>6</sup> CFU/100 mL
8					7.49		11850	0.77		2800	2800
9							0.56		18.8		
10				19.5							25
11	7.1		69%								
12		77.98				975					
13											3.5 NMP
14		5.62	11.38		8.01	202		13.2	0.708		
15							1.31		39.6		
16		218.7	4.5		7.9	4657.7		12.1			3500 UFC/100 mL
17	50.17			1.6	6.53				2.31		
18	2.3		11.1		7.6	380			1.759		1.528 UFC/100 mL
19	9.77				7.79	323		9.6			
20			7.01		7.33	113.8		30.5			