

Determinación de calidad del recurso hídrico del Río Fucha en los tramos 1 y 2  
(ICACOSU)

Proyecto aplicado para optar por el título de Ingeniería Ambiental

Estudiantes

Daniela Andrea Mora Fresneda

José Daniel García Bautista

Directora:

Luisa Fernanda Uribe Laverde

Ingeniería Ambiental y Sanitaria

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Ingeniería Ambiental

Bogotá D.C. Abril 22 de 2020

## Contenido

|   |    |
|---|----|
| Lista de Ilustraciones.....                         | 4  |
| Lista de Tablas .....                               | 5  |
| Resumen.....  | 6  |
| Palabras claves: .....                              | 6  |
| Abstract .....                                      | 7  |
| Key words:.....                                     | 7  |
| Introducción .....                                  | 8  |
| Capítulo 1. Planteamiento del problema .....        | 10 |
| <b>1.1. Justificación</b> .....                     | 11 |
| 1.2. Objetivos.....                                 | 13 |
| General .....                                       | 13 |
| Específico .....                                    | 13 |
| <b>Capítulo 2 Marco teórico</b> .....               | 14 |
| 2.1. Convenios de calidad del recurso hídrico ..... | 14 |
| 2.2. Río Fucha .....                                | 15 |
| 2.3. Índices de Calidad del agua.....               | 24 |
| 2.4. Definiciones .....                             | 30 |
| 2.5. Normatividad aplicada .....                    | 42 |
| Capítulo 3 Metodología.....                         | 45 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 3.1.                                   | Revisión documental .....  | 47 |
| 3.2                                    | Identificación de dinámicas Socio Ambientales .....                  | 48 |
| 3.3.                                   | Georreferenciación de vertimientos .....                             | 49 |
| 3.4.                                   | Establecer Puntos de Muestreo .....                                  | 52 |
| 3.5.                                   | Muestreo de parámetros In situ .....                                 | 55 |
| 3.6.                                   | Muestreo de Parámetros Ex situ y Procedimientos de Laboratorio ..... | 57 |
| Capítulo 4 Resultados y Análisis ..... |  | 67 |
| 4.1                                    | Caudal .....   | 73 |
| 4.2                                    | Temperatura .....  | 75 |
| 4.3                                    | pH.....  | 75 |
| 4.4                                    | Conductividad.....   | 76 |
| 4.5                                    | Oxígeno disuelto .....   | 77 |
| 4.6                                    | Demanda biológica de oxígeno.....                                    | 80 |
| 4.7                                    | Demanda química de oxígeno.....                                      | 81 |
| 4.8                                    | Solidos suspendidos totales.....                                     | 82 |
| Capítulo 6 Conclusiones .....          |  | 85 |
| Capítulo 7 Recomendaciones.....        |  | 88 |
| Capítulo 8 Bibliografía.....           |  | 89 |

## Lista de Ilustraciones

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Ilustración 1: Estructura Ecológica Principal – Río Fucha .....</i>              | <i>16</i> |
| <i>Ilustración 2: Ubicación de los Puntos de Monitoreo – Río Fucha .....</i>        | <i>18</i> |
| <i>Ilustración 3: Etapas de la metodología .....</i>                                | <i>46</i> |
| <i>Ilustración 4: Ficha para la identificación de vertimientos .....</i>            | <i>50</i> |
| <i>Ilustración 5: Puntos de muestreos Tramo 1 Río Fucha .....</i>                   | <i>52</i> |
| <i>Ilustración 6: Puntos de muestreos Tramo 2 Río Fucha .....</i>                   | <i>52</i> |
| <i>Ilustración 7: Muestreo de Laboratorio .....</i>                                 | <i>59</i> |
| <i>Ilustración 8: Análisis de calidad de la fuente.....</i>                         | <i>72</i> |
| <i>Ilustración 9: Caudal del Río Fucha.....</i>                                     | <i>73</i> |
| <i>Ilustración 10: Evolución de la temperatura Río Fucha.....</i>                   | <i>75</i> |
| <i>Ilustración 11: Evolución del pH.....</i>  | <i>75</i> |
| <i>Ilustración 13: Evolución de la Conductividad .....</i>                          | <i>76</i> |
| <i>Ilustración 14: Evolución del Oxígeno Disuelto.....</i>                          | <i>77</i> |
| <i>Ilustración 15: análisis de los objetivos de calidad tramo 1 .....</i>           | <i>79</i> |
| <i>Ilustración 16: análisis de los objetivos de calidad tramo 2.....</i>            | <i>80</i> |
| <i>Ilustración 17: DBO Vs Norma.....</i>  | <i>80</i> |
| <i>Ilustración 18: Tendencia DBO .....</i>  | <i>81</i> |
| <i>Ilustración 19: DQO Vs Norma .....</i>   | <i>82</i> |
| <i>Ilustración 20: Tendencias SST.....</i>  | <i>82</i> |
| <i>Ilustración 21: Grafico de análisis de relaciones entre los parámetros .....</i> | <i>83</i> |

## Lista de Tablas

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabla 1: Vertimiento Tramo 1 – Río Fucha.....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Tabla 2: Vertimiento Tramo 2 – Río Fucha.....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Tabla 3: Puntos de Monitoreo del Río Fucha RCHB.....</i>   | <i>19</i> |
| <i>Tabla 4: Comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo del Río Fucha tramo 1 y 2 RCHB..</i>                             | <i>19</i> |
| <i>Tabla 5: Comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno en los puntos de monitoreo del Río Fucha tramo 1 y 2 RCHB .....</i> | <i>20</i> |
| <i>Tabla 6: Comportamiento del Oxígeno Disuelto en los puntos de monitoreo del Río Fucha tramo 1 y 2 RCHB.....</i>                | <i>20</i> |
| <i>Tabla 7: Comportamiento de los Solidos Suspendedos Totales en los puntos de monitoreo del Río Fucha tramo 1 y 2 RCHB .....</i> | <i>21</i> |
| <i>Tabla 8: Límites de los tramos.....</i>  | <i>23</i> |
| <i>Tabla 9: Objetivo de Calidad del Río Fucha.....</i>  | <i>23</i> |
| <i>Tabla 10: Recorridos y Fechas del Estudio del Río Fucha .....</i>  | <i>48</i> |
| <i>Tabla 11: Actividades para determinar los puntos a analizar .....</i>  | <i>49</i> |
| <i>Tabla 12: Tabla de Identificación de Vertimientos del Río Fucha .....</i>  | <i>50</i> |
| <i>Tabla 13: Puntos de mayor influencia en el río Fucha.....</i>  | <i>54</i> |
| <i>Tabla 14: Dilución para concentración .....</i>  | <i>64</i> |
| <i>Tabla 15: Análisis de Resultados - del Río Fucha .....</i>   | <i>68</i> |
| <i>Tabla 16: datos de cálculos para el caudal - del Río Fucha.....</i>  | <i>74</i> |

## Resumen

El sistema hídrico de la ciudad de Bogotá D.C. aporta a la gran cuenca del río Bogotá y se compone por cuatro microcuencas hidrográficas: río Tunjuelo, río Salitre, río Fucha y el canal de Torca; como objeto de estudio de este proyecto se estudió el comportamiento del río Fucha en relación con la calidad del agua y los factores antrópicos y naturales que lo alteran. El río Fucha nace en los cerros orientales, en la localidad de San Cristóbal y desemboca en el río Bogotá a la altura de la localidad de Fontibón con una extensión de 17,30 kilómetros dividiéndose en cuatro tramos (Pérez & Zamora, 2015).

Esta investigación se focaliza desde el nacimiento del río hasta la carrera 50, identificando veintiocho puntos de vertimientos, distribuyendo diez puntos de muestreo en relación a la distancia y complejidad del vertimiento; se recolectaron datos para poder determinar el ICACOSU, midiendo parámetros in situ (pH, temperatura, conductividad y caudal) y parámetros ex situ (oxígeno disuelto, coliformes, sólidos suspendidos, demanda biológica de oxígeno y demanda química de oxígeno) y comparando los datos en relación con los objetivos de calidad establecidos en la resolución 5731 de 2008.

En relación con los resultados obtenidos el presente documento establece el consolidado de diez puntos de muestreos definidos, en el que dos puntos de muestreo cumplen con una calificación excelente, tres presentan una calificación regular y cinco presentan una calificación mala según el ICACOSU establecido.

**Palabras claves:** Parámetros fisicoquímicos, restauración, ecosistemas, vertimientos, contaminación, caudal.

## Abstract

The water system of the city of Bogota is made up of the following watersheds: Tunjuelo river, Salitre river, Fucha river and as the main source of Bogota river, The purpose of this project is to study the behaviour of the Fucha river in relation to water quality and the human and natural factors that alter it. This river rises in the eastern hills of San Cristóbal and flows into the Bogota River at the height of the town of Fontibón with an extension of 17.30 kilometers and is divided into four sections (Pèrez & Zamora, 2015).

This research focuses from the source of the river to the 50th race, identifying twenty-eight dumping points, distributing ten sampling points in relation to the distance and complexity of the dumping, where the data collection proposed by ICACOSU for the parameters In situ (pH, Temperature, Conductivity and Flow) and the sampling for ex-situ parameter analysis were developed (Dissolved Oxygen, Coliforms, Suspended Solids, Biological Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand) and comparing data in relation to the Quality Objectives set out in Resolution 5731/08. (Quality objectives for the Rivers Salitre, Fucha, Tunjuelo and Torca Channel in the District Capital, 2008).

In relation to the results obtained this document develops a table, with the consolidated of ten parameters in the defined sampling points, in which two sampling points meet an excellent rating, three have a regular rating and five have a bad rating.

**Key words:** physic- chemical parameters, restoration, ecosystems, dumping, pollution, flow.

## **Introducción**

Según lo establecido en el Decreto 1640 de 2012 “Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones” en donde el artículo tercero hace mención a las definiciones con el fin de aplicar e interpretar el componente normativo en relación a temas ambientales; estableciendo que una cuenca hidrográfica es un área de aguas superficiales con características naturales, la cual se conecta a una red hidrográfica compuesta por uno o varios cauces, aumentando cada vez su caudal ya sea de manera continua o intermitente hasta que desembogue en un río principal o en cuerpo de agua con mayor caudal (Planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas, 2012).

Anteriormente los ríos mantuvieron sus características naturales sin intervenciones antrópicas teniendo como objetivo principal el transporte del recurso hídrico por los componentes geográficos desembocando en las cuencas más grandes, con el pasar del tiempo estos ríos se canalizaron para agrupar las aguas y acelerar su velocidad, pudiendo variar desde los dragados puntuales más representativos con la forma natural del cauce, hasta los revestimientos más drásticos con hormigón que rigidiza el contorno del cauce, aislándolo de sus riberas y llanura de inundación (Loaiza, 2015).

Además, con el paso del tiempo y el aumento de la densidad poblacional; las comunidades e industrias empezaron a realizar vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público, con estas nuevas prácticas se dio paso para la creación de una normatividad que regula la actividad antrópica buscando así proteger los recursos naturales, delegando responsabilidades a instituciones del Estado y comunidad en general; actualmente por la falta de conciencia ambiental y compromiso social por parte

de las autoridades y la comunidad se ha generado consecuencias negativas en los ecosistemas naturales.

Para la ciudad de Bogotá, el Río Fucha es uno de los principales afluentes que desemboca en el río Bogotá, es considerado el segundo río urbano con mayor carga contaminante (Rodríguez, 2010) dado que realiza un largo recorrido atravesando la ciudad de Bogotá de oriente a occidente, en el que se le realizan vertimientos de tipo industrial y doméstico, generando problemas de calidad del agua que dificulta la supervivencia de la fauna y flora de este importante corredor ecológico, causando un deterioro ambiental y paisajístico (Rodríguez, 2010).

La Secretaria Distrital de Ambiente mediante la resolución 5731 de 2008 adopta unos objetivos de calidad para los ríos: Salitre, Fucha, Tunjuelo y Canal de Torca en el Distrito Capital, basados en los parámetros DBO, DQO, OD, pH, SST y Coliformes Fecales, establecidos como criterios importantes para regular la calidad del recurso hídrico. Con el fin de aumentar la calidad hídrica puesto que este presta servicios ecosistémicos fundamentales para la conservación de los ecosistemas. (Resolucion N°5731, 2008).

## Capítulo 1. Planteamiento del problema

El río Fucha ha tenido diferentes afectaciones negativas en su composición, las cuales se evidencian visualmente a través de recorridos, cambiando su estructura, calidad, y ecosistema a medida que se va internando al casco urbano y con el avance del desarrollo urbanístico e industrial: es por tal motivo que se generó la necesidad de establecer la calidad del agua mediante un método denominado ICACOSU además de identificar la normatividad que plantea acciones para que las autoridades competentes y la comunidad aporten a la protección y conservación del recurso hídrico; por tal motivo se adelanta un proceso de consulta normativa e investigativa en relación a la determinación de la calidad del agua; en donde se identificó unos objetivos de calidad planteados por la Secretaria Distrital de Ambiente para los ríos: Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en la ciudad de Bogotá mediante la Resolución No. 5731 de 2008 y mediante la herramienta ICACOSU determinar la calidad de agua por medio de parámetros físicos y químicos.

Con lo mencionado anteriormente por medio de recorridos y observaciones se identifican cuáles son los puntos de alteración de mayor influencia los cuales afectan a la calidad del río, aplicando a este el índice de calidad del agua para corrientes superficiales, en donde este tiene relación con unos parámetros químicos y físicos que se comparan con la Resolución No. 5731 de 2008.

## **1.1. Justificación**

En el mundo, Colombia es uno de los países con mayor presencia de recurso hídrico debido a su ubicación geográfica, factores de precipitación y diferentes condiciones, estas pueden ser oceánicas, depositadas, escorrentía y subterráneas (UNESCO, 2006). Gracias a este escalafón Colombia ha generado políticas encaminadas a la protección del recurso hídrico, vinculando autoridades, civiles, administrativas, ambientales y comunidad (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2010).

Este recurso se encuentra amenazado por la contaminación que realiza las actividades humanas, industriales, agrícolas, ganaderas y mineras; realizando vertimientos ya sean de tipo líquido o sólido, que poseen elementos perjudiciales para la salud y el medio ambiente (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial., 2010).

El río Fucha es uno de los afluentes hídricos más importantes de la ciudad de Bogotá siendo un proveedor de servicios ecosistémicos, como: paisajístico, aprovisionamiento, soporte, cultural y recreativo. El río nace en el Páramo de Cruz Verde ubicado en los cerros orientales y desemboca en el río Bogotá; esta fuente hídrica se encuentra en calidad de protección según lo establecido por el Decreto 2811 de 1974, el cual dicta el código nacional de los recursos naturales renovables y de protección del medio ambiente (Pérez & Zamora, 2015).

El Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca (POMCA), es el planteamiento del uso y manejo sostenible de sus recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos además de la planificación del uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o

restauración de la cuenca hidrográfica (Decreto 1729 , 2002). Es importante resaltar que los datos obtenidos en este proyecto de investigación pueden generar información en relación al estado de la calidad de la fuente hídrica y que se puedan tomar acciones enfocadas a la protección y conservación por parte de las autoridades y comunidad en general, de esta manera se relaciona con POMCA del río Fucha como fuente de información.

El presente trabajo de investigación brinda información relacionada con el estado de la calidad del agua del río Fucha en los tramos 1 y 2 en relación con el cumplimiento de los objetivos de calidad (Resolución 5731 de 2008), dando a conocer estos resultados y sirviendo como antecedente para el desarrollo de futuras investigaciones en pro de la conservación y recuperación de esta fuente hídrica.

## 1.2. Objetivos

### General

- ✓ Determinar la calidad del agua por medio del índice ICACOSU para los tramos 1 y 2 del Río Fucha.

### Específico

- ✓ Determinar el estado actual de la calidad del Río Fucha en los tramos 1 y 2 a partir de la revisión de información secundaria.
- ✓ Identificar los puntos de vertimientos que se encuentran sobre el cauce del río Fucha en los tramos 1 y 2.
- ✓ Establecer los valores de calidad del agua en los tramos 1 y 2 según el índice ICACOSU.
- ✓ Comparar los valores obtenidos en el presente estudio con los objetivos de calidad para el 2019 establecidos en la resolución 5731 de 2008 de la Secretaria Distrital de Ambiente.

## Capítulo 2 Marco teórico

En este trabajo de investigación el marco teórico utiliza elementos conceptuales que aportan solidez a la metodología, al análisis de resultados y a las conclusiones, no se centra en desarrollar un cuerpo teórico, sino en desarrollar dichos elementos conceptuales, en un ejercicio de investigación aplicada a una realidad concreta; entendiendo que la teoría no es la misma realidad, sino un mecanismo para acercarse a ella y entenderla.

### *2.1. Convenios de calidad del recurso hídrico*

En el marco del cumplimiento de los objetivos estratégicos dispuestos en los planes de desarrollo y documentos que soportan la calidad del recurso hídrico en la ciudad de Bogotá. La Secretaria Distrital de Ambiente como autoridad encargada, lidera diferentes procesos y convenios para el monitoreo de la calidad del recurso hídrico, tales como:

- Convenio 041 de 2002 suscrito con el IDEAM en el que se realizó seguimiento a las fuentes hídricas de Bogotá en el periodo 2003-2004, ubicando treinta y tres puntos de muestreo, distribuidos en siete puntos fijos, veintiséis puntos móviles ejecutando en total quinientos setenta y cuatro muestreos, cuatrocientos cuarenta aforos y diecisiete mil análisis fisicoquímicos y bacteriológicos para treinta y dos parámetros arrojando el primer estudio de esta magnitud sobre la calidad de los cuerpos de agua (Convenio 005, 2006).
- Convenio 17 de 2004: El convenio se suscribió con la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), con el fin de dar continuidad al estudio ya establecido en el marco del convenio 041 de 2002 para evaluar el estado de las fuentes hídricas en la ciudad de Bogotá de acuerdo con los objetivos de calidad

del agua establecidos por la SDA y bajo los parámetros descritos para el índice de calidad del agua canadiense (CCME\_WQI); En el desarrollo de este convenio se realizó el planteamiento de alternativas para reubicar los puntos móviles y fijos iniciales y se dejaron treinta y dos puntos representativos en la red de acuerdo con los objetivos de la SDA. (Convenio 17, 2004).

- Convenio 005 de 2006 EAAB-SDA: En este convenio se dio continuidad a la proyección del programa de monitoreo aleatorio del convenio 017 de 2004 anterior pero con ciertas modificaciones, orientando los alcances al índice de calidad CCME – WQI, ajustados a la Resolución 1813 de 2006 del Departamento técnico Administrativo del Medio Ambiente; y con el acuerdo 43 de la Corporación Autónoma de Cundinamarca para unificar criterios y mantener una línea base en relación al saneamiento gradual del recurso hídrico de la región (Convenio 005, 2006).

## *2.2.Río Fucha*

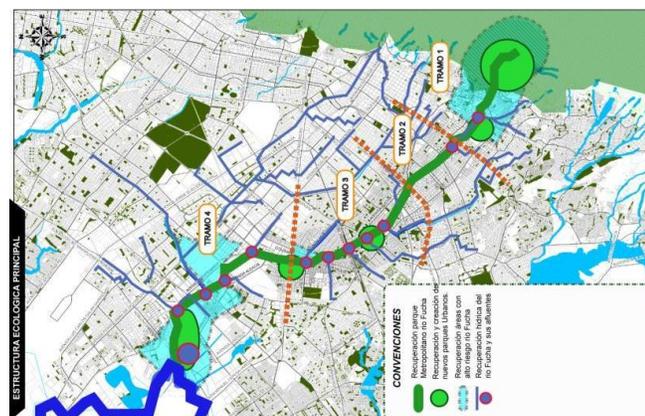
La cuenca hidrográfica del río Fucha tiene un área de 12.991 hectáreas urbanas y 4.545 hectáreas en el sector rural ubicadas en los cerros orientales de Bogotá, el río nace en los cerros orientales en el páramo Cruz Verde con la conjugación de la quebrada la Osa y Upata, atraviesa la ciudad de oriente a occidente, y en su trayectoria tiene una pendiente aproximada de 5,4% a 0,4% y cuenta con un eje longitudinal de 24 km. La fuente de agua presenta una canalización con diseño trapezoidal cubierta de concreto iniciando en la carrera 6. Esta cuenca hidrográfica recibe las aguas de los canales Comuneros, San Blass y Albina; y las quebradas La Peña, San Cristóbal, Santa Isabel, entre otras. De igual modo esta cuenca tiene

una correlación con los humedales La Vaca, El Burro, Techo y Meandro (Pérez & Zamora, 2015).

El río se divide en cinco tramos conformados de la siguiente forma: ( Secretaría Distrital de Ambiente y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2008).

Tramo 0: Borde Urbano – Reserva Ecológica El Delirio: Conservación.

- Tramo 1: Límite perímetro urbano hasta la Carrera 10: Conservación, renaturalización y recreación pasiva – activa.
- Tramo 2: Entre la carrera 10 hasta la carrera 50: renaturalización, revitalización y ecourbanismo en el entorno residencial.
- Tramo 3: Entre la carrera 50 hasta la Av. Boyacá: Conectividad, renaturalización y ecoeficiencia industrial.
- Tramo 4: Entre la Av. Boyacá hasta el río Bogotá: Conectividad, renaturalización, ecoeficiencia industrial, mitigación de riesgo y borde río Bogotá. (Pérez & Zamora, 2015)



*Ilustración 1: Estructura Ecológica Principal – Río Fucha*

*Fuente: Integración Urbana del Río Fucha Caso Especifico Tramo 1 (2014).*

*Antecedentes del monitoreo de calidad del agua en el Río Fucha*

La EAAB basado en el programa de Seguimiento y monitoreo de la calidad del recurso hídrico para el año 2006 identificó y referenció los vertimientos de mayor importancia, que fueron corroborados por la autoridad ambiental en la ejecución del plan de seguimiento y manejo de vertimientos, aportando información relevante para los tramos 1 y 2 ( Secretaría Distrital de Ambiente y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2008), véanse la *Tabla 1* y la *Tabla 2*.

*Tabla 1: Vertimiento Tramo 1 – Río Fucha*

| <b>Identificación</b>                                 | <b>Código</b> | <b>Margen de Descarga</b> | <b>Impacto</b> |
|---|---------------|---------------------------|----------------|
| Carrera 5ª este, calle 12 sur                         | FT-1-16       | Derecha                   | Alto           |
| Canal San Blas ubicado en la carrera 4ª, calle 13 sur | FT-1-21       | Izquierda                 | Alto           |

*Fuente: PSMV. EAAB – ESP, 2006*

*Tabla 2: Vertimiento Tramo 2 – Río Fucha*

| <b>Identificación</b>                                | <b>Código</b> | <b>Margen de Descarga</b> | <b>Impacto</b> |
|--|---------------|---------------------------|----------------|
| CADS río Fucha, carrera 8a diagonal 13 sur.          | FT-2-10       | Derecha                   | Alto           |
| Carrera 10a con calle 13 sur, 20 metros aguas abajo. | FT-2-13       | Izquierda                 | Bajo           |
| Carrera 10a con calle 13 sur, 20 metros aguas abajo. | FT-2-09       | Derecha                   | Alto           |
| Canal Albina, calle 17B sur carrera 39.              | FT-2-64       | Izquierda                 | Alto           |
| Diagonal 17 carrera 41c sur.                         | FT-2-73       | Derecha                   | Bajo           |
| Canal río seco diagonal 17 sur.                      | FT-2-87       | Izquierda                 | Bajo           |
| Avenida carrera 46 diagonal 17 sur.                  | FT-2-84       | Derecha                   | Bajo           |
| Transversal 48ª # 17 sur                             | FT-2-89       | Izquierda                 | Bajo           |
| Transversal 56 diagonal 1.                           | FT-2-123      | Izquierda                 | Bajo           |
| Canal Los Comuneros diagonal 3ª por carrera 68b bis. | FT-2-149      | Derecha                   | Alto           |

*Fuente: PSMV. EAAB – ESP, 2006*

La red de calidad hídrica de Bogotá (RCHB) se adelantó mediante el convenio 005 EAAB-SDA 2006 en la implementación de unos puntos de monitoreo para todas las cuencas hidrográficas de la ciudad, al río Fucha le correspondieron 7 puntos distribuidos en los 4 tramos como se presenta en la ilustración 2 ( Secretaría Distrital de Ambiente y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, 2008) Véase en la ilustración 2 y tabla 3.

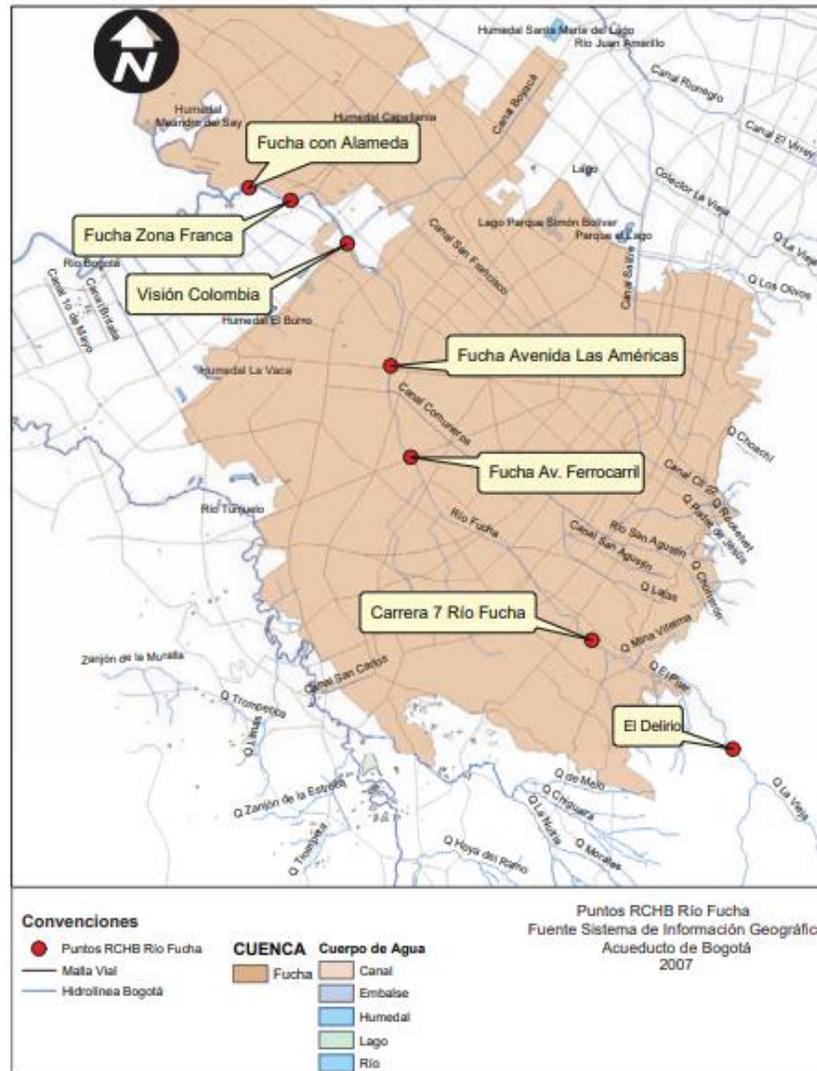


Ilustración 2: Ubicación de los Puntos de Monitoreo – Río Fucha

Fuente: Convenio 005/2006 SDA – EAAB – ESP

Tabla 3: Puntos de Monitoreo del Río Fucha RCHB

| Cuenca | Estación                      | Tramo Fuente | Coordenadas |           |
|--------|-------------------------------|--------------|-------------|-----------|
|        |                               |              | Latitud     | Longitud  |
| Fucha  | El Delirio                    | 1            | 433.133     | 7.403.381 |
|        | Carrera 7° con río Fucha      | 2            | 434.396     | 7.405.201 |
|        | Fucha con avenida Ferrocarril | 2            | 436.436     | 7.407.198 |
|        | Avenida Las Américas          | 3            | 437.466     | 7.407.341 |
|        | Visión Colombia               | 4            | 438.458     | 7.407.367 |
|        | Zona Franca                   | 4            | 439.408     | 7.408.417 |
|        | Fucha con Alameda             | 4            | 4,39419     | 7.408.426 |

Fuente: Convenio 005/2006 SDA – EAAB – ESP

La red de calidad hídrica de Bogotá (RCHB) se adelantó mediante el convenio 005 EAAB-SDA 2006 los punto de monitoreo correspondientes al río Fucha distribuidos en los 4 tramos de los cuales el tramos 1 y 2 son de nuestra injerencia evidenciándose en la tabla 4 el comportamiento que tiene el rio en cuanto al parámetro de caudal.

Tabla 4: Comportamiento del caudal en los puntos de monitoreo del Río Fucha tramo 1 y 2 RCHB

| Punto de monitoreo        | N° tramo | Caudal (L/s) en lo puntos de monitoreo de río Fucha |              |                |               |
|---------------------------|----------|---|--------------|----------------|---------------|
|                           |          | Valor mínimo  | Valor máximo | Valor promedio | Valor mediano |
| El Delirio                | 1        | 24  | 4297         | 387            | 119           |
| Carrera 7ª río Fucha      | 2        | 205   | 2402         | 635            | 451,5         |
| Fucha Avenida ferrocarril | 2        | 225   | 16634        | 1599           | 579,2         |

Fuente: Convenio 005/2006 SDA – EAAB – ESP

La red de calidad hídrica de Bogotá (RCHB) se adelantó mediante el convenio 005 EAAB-SDA 2006 los punto de monitoreo correspondientes al río Fucha distribuidos en los

4 tramos de los cuales el tramos 1 y 2 son de nuestra injerencia evidenciándose en la tabla 5 el comportamiento que tiene el río en cuanto al parámetro de la Demanda Biológica de Oxígeno.

*Tabla 5: Comportamiento de la Demanda Biológica de Oxígeno en los puntos de monitoreo del Río*

*Fucha tramo 1 y 2 RCHB*

| Punto de monitoreo        | N° tramo | Carga DBO (Ton/Día) en lo puntos de monitoreo de río Fucha |              |                |
|---------------------------|----------|--|--------------|----------------|
|                           |          | Valor mínimo   | Valor máximo | Valor promedio |
| El Delirio                | 1        | 0,004  | 1,114        | 0,088          |
| Carrera 7ª río Fucha      | 2        | 0,069  | 5,396        | 1,499          |
| Fucha Avenida ferrocarril | 2        | 0,065  | 44,45        | 9,517          |

*Fuente: Convenio 005/2006 SDA – EAAB – ESP*

La red de calidad hídrica de Bogotá (RCHB) se adelantó mediante el convenio 005 EAAB-SDA 2006 los punto de monitoreo correspondientes al río Fucha distribuidos en los 4 tramos de los cuales el tramos 1 y 2 son de nuestra injerencia evidenciándose en la tabla 6 el comportamiento que tiene el río en cuanto al parámetro del Oxígeno Disuelto.

*Tabla 6: Comportamiento del Oxígeno Disuelto en los puntos de monitoreo del Río Fucha tramo 1*

*y 2 RCHB*

| Punto de monitoreo        | N° tramo | Carga DBO (Ton/Día) en lo puntos de monitoreo de río Fucha |              |                |
|---------------------------|----------|--|--------------|----------------|
|                           |          | Valor mínimo   | Valor máximo | Valor promedio |
| El Delirio                | 1        | 5,90   | 10,10        | 7,9            |
| Carrera 7ª río Fucha      | 2        | 3,20   | 8,70         | 5,8            |
| Fucha Avenida ferrocarril | 2        | 0,40   | 6,60         | 1,51           |

*Fuente: Convenio 005/2006 SDA – EAAB – ESP*

La red de calidad hídrica de Bogotá (RCHB) se adelantó mediante el convenio 005 EAAB-SDA 2006 los punto de monitoreo correspondientes al río Fucha distribuidos en los 4 tramos de los cuales el tramos 1 y 2 son de nuestra injerencia evidenciándose en la tabla 7 el comportamiento que tiene el río en cuanto al parámetro de Solidos Suspendidos Totales.

*Tabla 7: Comportamiento de los Solidos Suspendidos Totales en los puntos de monitoreo del Río*

*Fucha tramo 1 y 2 RCHB*

| Punto de monitoreo        | N° tramo | Comportamiento de SST (mg/l) en lo puntos de monitoreo de río Fucha |              |                |               |
|---------------------------|----------|---|--------------|----------------|---------------|
|                           |          | Valor mínimo  | Valor máximo | Valor promedio | Valor mediana |
| El Delirio                | 1        | 1   | 12           | 4              | 3             |
| Carrera 7ª río Fucha      | 2        | 16  | 914          | 110            | 35            |
| Fucha Avenida ferrocarril | 2        | 15  | 6228         | 445            | 118           |

*Fuente: Convenio 005/2006 SDA – EAAB – ESP*

Según el artículo 25 del Decreto 3100 de 2003 establece que "Las Autoridades Ambientales Competentes deberán efectuar Programas de Monitoreo de las fuentes hídricas partiendo de los siguientes parámetros de calidad: DBO, SST, DQO, OD, Coliformes Fecales y pH" (Decreto 3100 Artículo 25, 2003).

*Objetivos de calidad para el río Fucha*

La Secretaria Distrital de Ambiente estableció unos objetivos de calidad enfocados a los cuerpos de agua que están dentro del perímetro urbano de Bogotá D.C., reemplazando a la Resolución 1813 de 2006 adoptando nuevos objetivos de calidad para los Ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca otorgándole este mando a la Resolución 5731 de 2008, basándose en los siguientes acuerdos y resoluciones.

Resolución 1813 de 2006, la SDA estableció los objetivos de calidad para los cuerpos de agua de la ciudad para el quinquenio 2006-2011 dentro del perímetro urbano de Bogotá, en donde la EAAB diseñó y presentó el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos - PSMV para la jurisdicción de la SDA (Resolución 1813, 2006).

Resolución 1433 de 2004, se tiene en cuenta los objetivos de calidad determinados por la SDA, presentando metas de reducción de carga de contaminante para los parámetros objeto de cobro de tasa (Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales).

Convenio interadministrativo 045 de 2007, en donde la SDA y la Universidad de Los Andes se unen para cumplir el objetivo de determinar las concentraciones de referencias para los vertimientos industriales realizados a la red de alcantarillado y de los vertimientos industriales y domésticos efectuados a cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá, dicho convenio determina las necesidades de establecer el procedimiento técnico y determinar los nuevos objetivos de calidad para los Ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo, el Canal Torca y los humedales para tal efecto se determinaron unos valores de calidad permisibles correspondientes a cuatro, diez, veinte y cuarenta años, véase en la tabla 9 valores estimados a veinte años para el río Fucha en los tramos 1 y 2. (Convenio 045, 2007).

En la resolución 5731 de 2008 en el primer artículo adopta el documento titulado “concentraciones de referencia para los vertimientos industriales realizadorillado de los vertimientos industriales y domésticos efectuados a cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá” como información de soporte para el establecimiento de los objetivos de calidad de los Ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo, y del Canal Torca, dentro del perímetro urbano de Bogotá. En artículo segundo relaciona temas de organización y fijación de los objetivos de calidad

adoptan unos tramos que delimitan a los ríos y el canal como se puede observar en la tabla 8.

*Tabla 8: Límites de los tramos.*

| Cuenca         | Tramo | Límites                       |                               |
|----------------|-------|-------------------------------|-------------------------------|
|                |       | Desde                         | Hasta                         |
| Río Tunjuelito | 1     | Entrada perímetro urbano      | Desembocadura Quebrada Yomasa |
|                | 2     | Desembocadura Quebrada Yomasa | Avenida Boyacá                |
|                | 3     | Avenida Boyacá                | Autopista Sur                 |
|                | 4     | Autopista Sur                 | Desembocadura Río Tunjuelo    |
| Río Fucha      | 1     | Entrada perímetro urbano      | Carrera 7ª                    |
|                | 2     | Carrera 7ª                    | Desembocadura Canal Comuneros |
|                | 3     | Desembocadura Canal Comuneros | Avenida Boyacá                |
|                | 4     | Avenida Boyacá                | Desembocadura Río Fucha       |
| Río Salitre    | 1     | Entrada perímetro urbano      | Carrera 7ª                    |
|                | 2     | Carrera 7ª                    | Carrera 30                    |
|                | 3     | Carrera 30                    | Avenida 68                    |
|                | 4     | Avenida 68                    | Desembocadura Juan Amarillo   |
| Canal Torca    | 1     | Entrada perímetro urbano      | Calle 183                     |
|                | 2     | Calle 183                     | Desembocadura Canal Torca     |

*Fuente: Resolución 5731 del 2008*

*Tabla 9: Objetivo de Calidad del Río Fucha*

| Parámetros       | Unidades            | Valores |         |
|------------------|---------------------|---------|---------|
|                  |                     | Tramo 1 | Tramo 2 |
| OD               | mgO <sub>2</sub> /L | 8       | 5       |
| DBO <sub>5</sub> | mgO <sub>2</sub> /L | 5       | 40      |
| DQO              | mgO <sub>2</sub> /L | 30      | 90      |
| N TOTAL          | mg/L                | 1,5     | 10      |
| P TOTAL          | mg/L                | 0,1     | 1       |
| SST              | mg/L                | 10      | 25      |
| A Y G            | mg/L                | 10      | 10      |

|                       |        |           |          |
|-----------------------|--------|-----------|----------|
| Coliformes<br>Fecales | UFC/ml | 1,00E+02  | 1,00E+05 |
| pH                    | Unidad | 6,5 – 8,5 | 6,5      |
| SAAM                  | mg/L   | 0,5       | 1        |

*Fuente: Resolución 5731 del 2008*

### 2.3. Índices de Calidad del agua

Los indicadores ambientales de desarrollo sostenible, comenzaron a fijarse a finales de la década ochenta en Canadá y algunos países de Europa, aunque esta idea tomo más fuerza cuando se celebró la conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y desarrollo sobre la Cumbre de la Tierra en la agenda veintiuno en donde se concertó la necesidad de obtener información ambiental y establecer unos indicadores de desarrollo sostenible. En dicha comisión se generó un programa de trabajo el cual fue importante en el desarrollo de hojas metodológicas y algunos indicadores en algunos países que participaron (Quiroga Martínez, 2007). En el transcurso del tiempo los indicadores se han clasificado en tres tipos descritos de la siguiente forma indicadores de primera, segunda y tercera generación descritos de la siguiente manera:

- **Indicadores ambientales de primera generación (1.980 – presente):** estos son llamados indicadores ambientales o de sostenibilidad, son denominados de esta forma porque fueron creados a los finales de los ochenta, puesto que en este tiempo los sectores productivos de mayor influencia se enfocaban (minería, agricultura, forestal) además de los diversos acontecimiento que sucedieron en esos tiempos se crearon indicadores ambientales sobre la cobertura boscosa de un territorio, la calidad del aire de una ciudad, contaminación del agua por coliformes, deforestación, desertificación o cambio de uso de suelo. Estos indicadores son muy importantes porque se establecieron avances muy

importantes a partir de ellos los cuales antes no existían y en países que no tenían implementados estos temas consiguiendo así progresar con la implementación de los indicadores económicos y sociales. (Quiroga Martínez, 2007).

- ***Indicadores de desarrollo sostenible o de segunda generación (1.990 – presente)***: estos son van dirigidos hacia el desarrollo sostenible, compuestos por indicadores ambientales, sociales, económicos e institucionales, haciendo que estos temas se puedan entrelazar y un indicador pueda tener más de un tema de enfoque. Estos indicadores de segunda generación tiene una falencia y es que hasta cierto punto es muy complejo integrar varios temas, más bien este conforma una forma individual. (Quiroga Martínez, 2007).
- ***Indicadores de sostenibilidad o de tercera generación (por desarrollar)***: tiene como finalidad crear indicadores transversales que permitan tener un acceso rápido a temas de mayor influencia, en cuanto a los temas económico, social y ambiental. Este no trata de tomar indicadores de distintos ámbitos y ponerlos juntos porque estos chocarían en la metodología. Este tipo de indicador tiene como finalidad mostrar el avance de la sostenibilidad en una forma efectiva manejando un número limitado de indicadores. (Quiroga Martínez, 2007).

Según Valdes, Samboni & Carvajal La valoración y evaluación de la calidad del agua emplea metodologías las cuales están dentro de las normatividades vigentes y los indicadores ICA, las cuales generan un valor que califica y cualifica la fuente y metodologías más elaboradas como la modelación.

En la década de los sesenta se dio la aparición de los indicadores ICA los cuales son mencionados por Horton (1965) y Liebman (1969) buscando unificar metodologías basándose en los tres parámetros fundamentales los cuales son: selección de parámetros, determinación del subíndice para cada parámetro y fórmula de agregación de los subíndices (Valdes Basto, Samboni Ruiz, & Carlvajal Escobar, 2011).

El índice de calidad del agua (ICA) tiene la potestad de determinar cuál es el grado de contaminación, convirtiéndose en un instrumento muy importante para la información del estado del recurso hídrico, este está conformado por varios parámetros y presentan diferentes metodologías según el autor, este índice utiliza la herramienta matemática para poder transformar grandes cantidades de valores en una escala de medición clasificada en excelente, buena, pobre, y no apta, estos criterios cambian dependiendo de cada índice, el hecho de darle un valor y una clasificación a la calidad del agua se remonta a mediados del siglo XX. (Castro, Almeida, Ferrer , & Díaz, 2014)

La calidad del agua se determina dependiendo de los valores de los parámetros físicos, químicos, y biológicos; determinando la finalidad del uso del recurso hídrico pudiendo ser para agua potable, temas de agricultura, pesca, o cualquier otra actividad que implique dentro de sus procesos la utilización del agua, (Castro, Almeida, Ferrer , & Díaz, 2014) los ICA más utilizados son:

- ICA según Horton: este es un precursor en la generación de una metodológica para el ICA, este método utiliza diez variables incluyendo las más monitoreadas como OD, Coliformes, pH, Conductividad, Alcalinidad, contenido de cloruro y temperatura. Su propósito es revelar los cambios físicos y químicos ocurridos

a nivel de calidad en las corrientes de agua. (Castro, Almeida, Ferrer , & Díaz, 2014)

- INSF: este sigue el proceso que ya venía trabajando Horton y se creó en los Estados Unidos, esta metodología determina las clases de valores del índice de calidad del agua el cual operaciones matemáticas para poder determinar varios intervalos de valores teniendo como finalidad darle la importancia a cada parámetro clasificándolo en los criterios de muy mala, mala, media, buena y excelente. (Castro, Almeida, Ferrer , & Díaz, 2014)
- ICA de Oregón (OWQI): este fue introducido en la década de 1970 y mejorado en 1995 teniendo como finalidad reflejar el estado de la calidad del recurso hídrico los parámetros que este analizan son la temperatura, Oxígeno Disuelto, porcentaje de saturación y concentración, Demanda Biológica de Oxígeno, pH, solidos totales amonio y nitratos, fosforo total y coliformes fecales. Este está planteado para permitir la comparación de la calidad del agua entre diferentes tramos del mismo río o entre diferentes cuencas. (Castro, Almeida, Ferrer , & Díaz, 2014).
- ICA según Dinius: este fue creado para hacer un intento de un sistema de contabilidad social rudimentario el cual mediría los costos y el impacto de los esfuerzos de control de la contaminación, conformado por nueve parámetros fisicoquímicos y dos microbiológicas. Su aplicación está enfocado el agua consumo humano considerados en los recurso de potable para consumo humano, agricultura, pesca, vida acuática, industrial y recreacional. Sus

categorizaciones son la combinación de los índices de Horton y la versión de aditivo de la NSF estableciendo a cada uno una ecuación para su categorización.

- Índice universal de la calidad del agua (UWQI): este está conformado por veinte tres parámetros fisicoquímicos y microbiológicos variando su complejidad dependiendo del uso del agua.

Para Colombia los indicadores de calidad del agua lo determina el Estudio Nacional del agua realizado por el IDEAM en el año 2000, aunque algunas corporaciones regionales también aportaron ciertos programas de monitoreo, siendo los siguientes: Indicador de contaminación del agua, Sistema Nacional de Indicadores Ambientales, Sistema de Información del Recurso Hídrico, Indicadores del Recurso hídrico, Línea base de indicadores ambientales del 2002, Resolución 0643 de 2004, Estudio Nacional del Agua 2010 y Sistema de indicadores hídricos regionales. (Castro, Almeida, Ferrer , & Díaz, 2014).

### 2.3.1. ICACOSU

El ICACOSU es un índice de calidad del agua desarrollado por el IDEAM para las fuentes de agua superficiales. Este índice se presentó como una variante a la metodología adaptada de desarrollo por la Fundación de Sanidad Nacional de los Estados Unidos y tiene como gran ventaja la reducción en los grandes volúmenes de datos de campo a un simple valor numérico de cero a uno y se clasifica según la calidad del agua en orden ascendente en una de las cinco categorías, como, muy malo, malo, medio, bueno y excelente (IDEAM, 2007). Véase en la ecuación uno para calcular el ICACOSU.

Para hallar el índice general se necesita calcular el ICACOSU fisicoquímico agregado y el índice lotico de capacidad ambiental general desarrollado por Ramírez y Viña en 1998, el cual corresponde al logaritmo del caudal.

$$ICACOSU = ICACOSU_{FA} * 0.8 + ILCAG * 0.2 \quad (1)$$

Donde:

ICACOSU: Índice de calidad del agua para corrientes superficiales en general.

$ICACOSU_{FA}$ : Es el índice agregado de calidad fisicoquímica.

ILCAG: Índice de capacidad ambiental.

Caculo  $ICACOSU_{FA}$

$ICACOSU_{FA}$  hace referencia al índice agregado de calidad fisicoquímica para las corrientes superficiales y busca generar amplia información sobre la naturaleza de las especies químicas del agua y sobre las propiedades físicas sin generar información vital de la influencia de éstas en la vida acuática. El desarrollo de implementar métodos de estudios fisicoquímicos presenta unas ventajas y es que estos análisis son más rápidos y se pueden implementar con mayor frecuencia permitiendo utilizar esta información en diferentes usos. (IDEAM, 2007) Véase en la ecuación dos para calcular el ICACOSU.

$$ICACOSU_{FA}: (Si_{OD} * 0.2) + (Si_C * 0.18) + (Si_{SST} * 0.15) + (Si_{DBO} * 0.15) + (Si_{DQO} * 0.12) + (Si_{COD} * 0.12) + (Si_{pH} * 0.08) \quad (2)$$

Donde:

$Si_{OD}$ : Subíndice de porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto

$Si_C$ : Subíndice de Coliformes.

$Si_{SST}$ : Subíndice de Sólidos Suspendidos Totales.

$Si_{DBO}$ : Subíndice de Demanda Biológica de Oxígeno.

$Si_{DQO}$ : Subíndice de Demanda Química de Oxígeno.

$Si_{COD}$ : Subíndice de Conductividad Eléctrica.

$Si_{pH}$ : Subíndice de pH.

LCAG hace referencia al índice lótico de capacidad ambiental general el cual fue desarrollado en el año 1998 por Ramírez y viña, según el caso este cálculo puede estar referido al caudal medio diario calculado por la curva de gasto y también se puede jerarquizar mediante representación gráfica por medio de colores. En este proceso se tiene en cuenta el caudal en la formulación ya que éste tiene incidencia en la corriente superficial para la asimilación de contaminantes y su auto recuperación. Este índice de capacidad ambiental corresponde al logaritmo del caudal medio \* 0,333. (IDEAM, 2007).

#### *2.4. Definiciones*

##### *Muestreo*

Para la ejecución de la toma de muestras es imprescindible determinar los puntos donde se va a ejecutar el monitoreo, este debe ser congruente con las características del río y debe ir enfocado a los objetivos establecidos en el proyecto. Con base a esto se analizó el comportamiento del río en su recorrido y cómo su entorno puede afectarlo de manera positiva o negativa, dicho esto el muestreo será de tipo superficial (IDEAM, 2010).

Los criterios de decisión para establecer los puntos de muestreo deben considerar una serie de aspectos relacionados especialmente a los vertimientos existentes, los afluentes, el uso del suelo (industrial, doméstico, comercial o rural), los puntos de descarga de agua lluvia y puntos de monitoreo del acueducto, entre otros.

En todos los protocolos de muestreo, también se deben contemplar todas las limitaciones, relacionadas con sitios geográficamente inaccesibles, con condiciones climáticas desfavorables, situaciones de seguridad y de orden público, presupuesto y capacidad técnica e infraestructura inadecuada.

### *Medición de caudal*

El agua es un elemento de la naturaleza fundamental para el sostenimiento y reproducción de la vida en el planeta (UNESCO, 2006), es elemental saber cuál es la cantidad de agua que pasa por los cuerpos hídricos naturales, la razón de porque esta aumenta o disminuye en su cantidad, sirviendo como fuentes de información para el análisis en diferentes ámbitos de aplicación; este valor en mención es denominado caudal debido a que determina el volumen del agua, es decir, la cantidad de litros que pasa por una sección específica de una quebrada, río o arroyo en un tiempo determinado (IDEAM, 2010).

La medición del caudal se puede desarrollar de diferentes formas y su elección depende del objetivo del monitoreo, facilidad de acceso, tiempo con el que se cuenta, las características de la fuente superficial y condiciones meteorológicas. Para la ejecución de esta medida existen diferentes técnicas que pueden ser de tipo, volumétrico, método de área-velocidad o flotadores, trazadores, y área de la sección (IDEAM, 2010).

- **Aforo volumétrico:** La medición del caudal por el método volumétrico se aplica cuando un cuerpo de agua presenta una caída permitiendo almacenar todo el flujo del agua en un recipiente con volumen determinado en relación con el tiempo requerido. Es un método que se recomienda aplicarlo en corrientes pequeñas, usando un recipiente calibrado. En algunos casos es necesario adelantar adecuaciones en el cauce con el propósito de transportar el total del flujo al recipiente mediante ayudas adicionales, por ejemplo una caña o una canaleta, según la magnitud del caudal (MINAMBIENTE; IDEAM, 2007). Este es uno de los métodos más prácticos para su medición pero no tan exactos

en los valores que arroja y puede utilizarse siempre y cuando este se ajuste a las condiciones y características requeridas por el método. (IDEAM, 2010).

El caudal se calcula de la siguiente manera:

$$Q = V/t \text{ (3)}$$

Donde:

$Q$ : Caudal Litros/s

$V$ : Velocidad superficial, L

$t$ : Tiempo en Segundos.

- Aforo con flotadores: La aplicación del método de flotadores para calcular el caudal, es una medición bastante sencilla, pero inexacta (IDEAM, 2010). Es una técnica que se aplica únicamente para corrientes tranquilas con una lámina de agua pequeña y durante periodos de buen tiempo, sin que se presenta afectación de los vientos que puede alterar la superficie del agua y el flotador no puede moverse a una velocidad normal.

Para realizar el aforo con flotadores normalmente se toman las velocidades a  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  del ancho de la sección, para lo cual se selecciona un tramo de la corriente limitado por dos secciones ( $X$ ), entre las cuales las líneas de flujo sean paralelas. En la sección uno, se colocan los flotadores y en la sección dos se registra la llegada, tomando el tiempo de desplazamiento de cada uno de los flotadores. Posteriormente se calcula la velocidad para cada flotador y la velocidad media en la corriente se obtiene promediando las tres velocidades (MINAMBIENTE; IDEAM, 2007). El caudal se calcula con las ecuaciones cuatro y cinco:

$$V = X/t \text{ (4)}$$

Donde:

$V$ : Velocidad superficial: m/s.

$X$ : Longitud recorrida por el elemento flotante, m.

$t$ : Tiempo de recorrido del elemento, s.

El caudal se calcula de la siguiente manera:

$$Q = n * V * A \quad (5)$$

Donde:

$Q$ : Caudal m<sup>3</sup>/s

$n$ : Factor que depende del material del fondo del canal.

$V$ : Velocidad superficial, m/s.

$A$ : Área transversal promedio, m<sup>2</sup>.

- Aforo con molinete: este muestra unos datos más exactos, es instrumento que presenta dos tipos de molinetes; el primero utiliza una taza cónica que gira sobre un eje vertical, y el segundo es de tipo hélice y gira sobre un eje horizontal. Este instrumento utiliza la velocidad de la corriente para generar rotación y arrojar un dato relacionado las revoluciones en un tiempo determinado.

El procedimiento para medir caudales inicia trazando sobre un papel cuadriculado la sección transversal de la corriente dividiéndola en franjas de igual diámetro, se saca la velocidad media de cada franja calculando a partir de la media de la velocidad medida a 0,2 y 0,8 de la profundidad de cada franja. La velocidad obtenida se multiplica por la superficie de la franja arrojando el caudal de la misma y para obtener el caudal total se suma el resultado de todas las franjas. (FAO, 1997)

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (6)$$

Donde:

$V$ : Velocidad media de la corriente m/s

$R$ : Es el radio hidráulico (m)

$S$ : Pendiente media del canal (m)

$N$ : Coeficiente, conocido como coeficiente de rugosidad de Manning.

- Aforo con trazadores: es especialmente utilizados para medir caudales de corrientes con las siguientes características: alta pendiente, lechos inestables, régimen torrencial y líneas de flujo desordenadas. Este procedimiento permite conocer el caudal sin conocer el área de la sección de aforos. Para implementar el aforo con trazadores en aguas superficiales se deben tener presente las siguientes condiciones: que la temperatura normal se disuelva rápidamente en el río, que la sustancia a utilizar no esté presente en el río o si se encuentra se presente en mínimas concentraciones, que no sea retenida o descompuesta por organismos plantas o sedimentos, que la concentración sea fácil de detectar mediante la utilización de métodos sencillos y que no genere afectación negativa al ser humano y medio ambiente. Las sustancias que se usan para este método son las siguientes: cloruro de sodio, dicromato de sodio, cloruro de litio y la rodamina w. (Balisario Luengas, 1990)

Calculo por el método de inyección continua

$$Q = \frac{Q_{tr} * C_1}{C_2} \quad (7)$$

Donde:

$Q_{tr}$ : Caudal de la solución inyectada

$C_1$ : Concentración de la solución inyectada

$C_2$ : Concentración obtenida en la sección de muestro

Calculo por el método de inyección instantánea

$$Q = \frac{V_{tr} * C_1}{\int C_2 * dt} \quad (8)$$

$V_{tr}$ : Volumen de la solución inyectada

$C_1$ : Concentración de la solución inyectada

$C_2$ : Concentración obtenida en la sección de muestro

$dt$ : Tiempo en que la solución cruza por el punto de muestreo

### *Clases de muestreo*

Existen dos tipos de muestreos manual y automático; el muestreo manual solo se puede realizar cuando se tiene una facilidad de acceso para recolectar la muestra y en su punto se logren observar con detenimiento los cambios que puede tener el recurso hídrico ya sea en color, olor, turbiedad, entre otros. Por el contrario el muestreo automático se aplica solo cuando los sitios son de difícil acceso y se puedan adquirir los equipos necesarios para la medición los cuales tienen que ser muy precisos y poseer una calibración (IDEAM, 2010).

### *Tipo de muestras*

Los muestreos se realizan considerando la variabilidad en la composición del recurso hídrico existiendo tres tipos de muestra: puntual, compuesta e integrada; la recolección de la muestra puntual consiste en tomar el agua en un lugar representativo del punto a monitorear; la recolección de la muestra compuesta consiste en recolectar varias muestras puntuales del tramo a analizar y mezclar varias veces este debe recolectarse en periodos de tiempos establecidos y en proporciones iguales; la recolección de la muestra integrada consiste en

mezclar varias muestras puntuales en diferentes puntos, pero de forma simultánea la cantidad de este varía dependiendo del ancho y la profundidad (IDEAM, 2010).

### *Calidad del agua*

La calidad del agua es un término usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua, este varía según su uso y a la población (Sánchez, 2015).

La presentación adecuada de los parámetros de caracterización facilita la definición de la calidad del agua para un uso determinado y permite visualizar no solo los aspectos relacionados con su composición química y microbiológica sino también los requerimientos económicos, legales y de tratamiento para su aprovechamiento (Romero Rojas, 2005).

### *Vertimiento*

Un vertimiento es la descarga final que se realiza a un cuerpo de agua, alcantarillado y suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido (MINAMBIENTE, 2010). Los vertimientos se encuentran categorizados, como vertimientos puntuales y vertimientos no puntuales. En el primer tipo de vertimiento se puede precisar con exactitud el punto exacto de la descarga a un cuerpo de agua o hacía otro sitio (alcantarillado o suelo), mientras en el segundo no es posible establecer con precisión el lugar de la descarga, las cuales generalmente se producen por fenómenos como la escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares (Decreto 1076, 2015).

### *Conductividad eléctrica (CE)*

La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la

mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua conducen la corriente en muy baja escala. Para la determinación de la conductividad la medida física hecha en el laboratorio es la resistencia, en ohmios o mega ohmios. La conductividad es el inverso de la resistencia específica, y se expresa en microohmio por centímetro ( $\mu\text{mho/cm}$ ), equivalentes a micro siemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ) o mili siemens por centímetro ( $\text{mS/cm}$ ) en el Sistema Internacional de Unidades. El intervalo de aplicación del método es de 10 a 10.000 (o hasta 50.000)  $\mu\text{mho/cm}$ , las conductividades fuera de estos valores son difíciles de medir con los componentes electrónicos y las celdas convencionales. El método es aplicable a aguas potables, superficiales, salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida (Suarez, 2006)

### *Coliformes*

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha buscado un grupo alternativo de indicadores que sean de más rápida y fácil detección. El grupo más utilizado es el de las bacterias Coliformes. (Madigan & col, 1997).

El grupo de microorganismos Coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana ya que los Coliformes.

✓ Son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.

- ✓ Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades.
- ✓ Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.
- ✓ Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección
- ✓ Los Coliformes fecales y *E. coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras. (Madigan & col, 1997).

Los Coliformes fecales son un subgrupo de los Coliformes totales, capaces de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los Coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*, ya que los Coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Otro de los aspectos negativos del uso de los Coliformes totales como indicador es el hecho de que algunos Coliformes son capaces de multiplicarse en el agua (Madigan & col, 1997).

#### *Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)*

Se define usualmente como la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias durante la estabilización de la materia orgánica susceptible de descomposición, en condiciones aeróbicas. Al decir susceptibles de descomposición se hace referencia a que la materia orgánica puede servir de alimento a las bacterias y que su oxidación genera energía. La prueba de la DBO se utiliza mucho para determinar el poder contaminante de los residuos domésticos e industriales en términos de la cantidad de oxígeno que requieren si son descargados a las corrientes naturales de agua en las que existen condiciones aeróbicas. Esta prueba es una de las más importantes en las operaciones de control de contaminación de las

corrientes. También tiene gran importancia para establecer los criterios de regulación, y para realizar estudios que evalúan la capacidad de purificación de cuerpos de agua receptores. Esta prueba es esencialmente un procedimiento que mide el oxígeno consumido por los organismos vivos al utilizar la materia orgánica con residuos en condiciones lo más semejantes posibles a la naturaleza. (Sawyer, McCarty, & Parkin, Química para Ingeniería Ambiental, 2001)

### *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

La prueba de la demanda química de oxígeno es ampliamente usada como una forma de medir la concentración de la materia orgánica en los residuos domésticos e industriales. Esta prueba permite medir en un residuo la cantidad total de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia orgánica, dióxido de carbono y agua. La prueba se basa en que todos los compuestos orgánicos, con unas pocas excepciones, pueden ser oxidados por la acción de agentes oxidantes fuertes en condiciones ácidas. Los nitrógenos aminados se convierten a nitrógeno amoniacal, sin embargo, el nitrógeno orgánico en estados más altos de oxidación se convierte en nitratos. Durante la determinación de la demanda química de oxígeno la materia orgánica es convertida a dióxido de carbono y agua independientemente de la capacidad biológica de las sustancias para ser asimiladas. Por ejemplo, la glucosa y la lignina son completamente oxidadas; en consecuencia, los valores de la DQO son mayores que los de DBO y pueden ser aún mayor cuando existen cantidades significativas de materia orgánica biológicamente resistentes. Una de las principales limitaciones de la prueba de la DQO es la imposibilidad para diferenciar entre materia biológicamente oxidable y materia orgánica biológicamente inerte. Además, no proporciona ningún dato de la velocidad a la que el

material biológicamente activo se estabiliza en las condiciones existentes en la naturaleza. (Sawyer, McCarty, & Parkin, Química para Ingeniería Ambiental, 2001).

### *Oxígeno Disuelto (OD)*

Todos los gases de la atmósfera son en alguna medida solubles en el agua. El nitrógeno y el oxígeno están catalogados como escasamente solubles y puesto que no reaccionan químicamente con el agua, su solubilidad es directamente proporcional a sus presiones parciales. Por tanto, para calcular las cantidades presentes en condiciones de saturación a una temperatura dada, se puede aplicar la ley de Henry. La solubilidad del nitrógeno y el oxígeno varían mucho cuando la temperatura es mayor; la solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua dulce varía desde 14,6 mg/l a 0 °C, hasta aproximadamente 7 mg/l a 35 °C, a 1 atm de presión. Puesto que es un gas poco soluble, su solubilidad varía directamente con la presión atmosférica a cualquier temperatura. Esta es una consideración importante a grandes altitudes. Debido a que la velocidad de oxidación biológica aumenta con la temperatura y que la demanda de oxígeno aumenta simultáneamente en las situaciones que el oxígeno es menos soluble. En campo, las condiciones críticas relacionadas con deficiencia del oxígeno disuelto ocurren con mayor frecuencia en los meses de verano, cuando la temperatura es alta y su solubilidad de oxígeno es mínima. Por esta razón se considera que el nivel máximo de oxígeno disuelto disponible en condiciones críticas es aproximadamente de 8 mg/l. En los desechos líquidos, el oxígeno disuelto es el factor que determina que los cambios biológicos sean producidos por organismos aeróbicos o anaeróbicos. Los organismos aerobios usan oxígeno libre para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica y forman productos finales inocuos, mientras que los organismos anaerobios llevan a cabo la oxidación mediante la reducción de algunas sales inorgánicas

como sulfatos, y los productos finales generalmente son muy perjudiciales. Las determinaciones del oxígeno disuelto son la base del análisis de la demanda biológica de oxígeno, por tanto, son el principio para las mediciones más importantes que se usan para evaluar la magnitud de contaminación de los desechos domésticos e industriales. (Sawyer, McCarty, & Parkin, Química para Ingeniería Ambiental, 2001).

### *pH*

El pH es un término de uso general para expresar la magnitud de acidez o alcalinidad. Es una forma de expresar la concentración de los iones de hidrógeno o, más exactamente la actividad del ion hidrógeno. En el área de los abastecimientos de agua, es un factor que se debe tener en consideración en la coagulación química, la desinfección, el abastecimiento de aguas y el control de la corrosión. En el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos, el pH se debe mantener en un margen favorable para los organismos específicos que intervienen. Los procesos químicos usados para coagular las aguas residuales, desecar los lodos u oxidar ciertas sustancias como el ion cianuro, requieren que el pH se mantenga dentro de límites muy estrechos. Por estas razones y por las relaciones fundamentales que existen entre el pH, la acidez y la alcalinidad es muy importante comprender los aspectos teóricos y prácticos del pH. (Sawyer, McCarty, & Parkin, Química para Ingeniería Ambiental, 2001).

### *Sólidos Suspendidos Totales (SST)*

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, las bacterias se alimentan de la materia coloidal y la materia disuelta. Se define el contenido de sólidos totales como la

materia que se obtiene como residuo después de someterlo a un proceso de evaporación a 103 y 105 °C. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un período de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, expresados en unidades de ml/l constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual (Metcalf & Eddy, 2003).

### *2.5. Normatividad aplicada*

Teniendo presente lo relacionado en la Constitución Política de Colombia, que obliga al Estado y a sus habitantes a proteger el patrimonio natural de la Nación; es ahí en donde el estado tiene la función de planificar el manejo del ambiente y los recursos naturales basados en garantizar el desarrollo sostenible, restauración y conservación; además debe generar políticas de prevención y control en función del deterioro ambiental imponiendo sanciones ambientales y exigiendo la recuperación de los daños generados.

Partiendo de la responsabilidad del estado según lo antes mencionado se delega esta

Funciones al Ministerios de Ambiente y Desarrollo Sostenible en donde según lo escrito en la ley 99 de 1993 la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA), y se dictan otras disposiciones; en su artículo quinto el cual establece las funciones para el ministerio basadas en regular, dirigir, formular y evaluar todo lo relacionado a la administración del recurso ambiental (Ley 99, 1993).

De igual modo la ley 99 de 1993 sectoriza el territorio Colombiano, crea corporaciones autónomas regionales y las de desarrollo sostenible, asigna jurisdicciones y establece en su

artículo 66 de la ley citada, que los municipios y áreas metropolitanas con una población urbana igual o superior a un millón de habitantes tendrá la responsabilidad de controlar y administrar el ambiente y sus recursos naturales renovables dentro del perímetro urbano y es por tal motivo que se crea la Secretaría Distrital de Ambiente la cual se le asignan funciones de Corporación Autónoma Regional relacionadas en el artículo 31 de la ley 99 de 1993 siendo la directamente responsable de generar actuaciones en relación al cuidado de las cuencas hidrográficas y en especial la del río Fucha (Artículo 31 Ley 99, 1993).

*Decreto 1076 de 2015*

Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible siendo una norma firmada por el presidente de la República la cual tiene el compilado de toda la normatividad reglamentaria en relación con el sector ambiente buscando así organizar y unificar este amplio componente normativo (Decreto 1076, 2015).

*Resolución 5731 de 2008*

Por la cual se deroga la Resolución 1813 de 2006 y se adoptan nuevos objetivos de calidad para los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y el Canal Torca en el Distrito Capital.

Artículo 1. Adoptar el documento titulado "Concentraciones de referencia para los vertimientos industriales realizados a la red de alcantarillado y de los vertimientos industriales y domésticos efectuados a cuerpos de agua de la ciudad de Bogotá - Informe Objetivos de Calidad", como información de soporte para el establecimiento de los objetivos de calidad de los Ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo y del Canal Torca, dentro del perímetro urbano de Bogotá. Así mismo, este documento servirá como base conceptual del programa de tasas retributivas adelantado por la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA (Resolución 5731, 2008).

Parágrafo: La Secretaria Distrital de Ambiente, podrá revisar y modificar los objetivos de calidad a 10 años de conformidad con las evaluaciones del comportamiento de la calidad hídrica de Bogotá. En cualquier caso, la modificación estará fundamentada en estudios técnicos y modelaciones actualizadas de la calidad de las corrientes de agua sobre las cuales se determine la fijación de los objetivos de calidad. Lo anterior se realizará de acuerdo con la gradualidad y la priorización que la SDA considere pertinentes y oportunas (Resolución 5731, 2008).

Artículo 4. El seguimiento y monitoreo a los objetivos de calidad definidos en la presente Resolución se realizarán en los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo y el Canal Torca, en por lo menos los siguientes parámetros de calidad: DBO, SST, DQO, OD, Coliformes Fecales y pH. Esta información se obtendrá de las jornadas de operación de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá, y serán considerados como datos oficiales para los reportes correspondientes.

Parágrafo: Los resultados del programa de monitoreo serán reportados anualmente al Ministerio de Ambiente. Vivienda y Desarrollo Territorial, se utilizarán como soporte de la herramienta de seguimiento al programa de tasas retributivas de dicho ministerio y serán publicados en la página Web de la Secretaría Distrital de Ambiente (Resolución 5731, 2008).

### Capítulo 3 Metodología

El tipo de investigación presenta un estudio con enfoque descriptivo debido a que el tema de la investigación hace parte de una realidad ambiental; por esta situación el proyecto presenta unas caracterizaciones y diagnósticos que ayudan a generar una descripción de la calidad del agua y las actividades antrópicas que la alteran identificando el contexto socio ambiental y económico, detallando características generales de la comunidad en los tramos de la fuente hídrica a estudiar. Esta investigación es de tipo mixto (cuantitativo y cualitativo) (Gomez Bastar, 2012), debido a que los datos se obtienen de procedimientos *in-situ* y *ex-situ* basados en muestreos y análisis de laboratorio que buscan la interrelación entre la fuente hídrica y su contexto. La interpretación de los resultados presenta inicialmente un orden cuantitativo, con la aplicación de técnicas de análisis estadístico, como herramienta para la validación de los datos medidos en campo. El enfoque cualitativo del estudio se fundamenta en técnicas de observación de la problemática teniendo en cuenta el análisis de dinámicas socio ambientales que se evidencian en relación con el río. Es de resaltar que esta investigación tiene un propósito aplicativo debido a que el énfasis teórico y práctico se deja a disposición de las comunidades e instituciones para la búsqueda soluciones en relación con las problemáticas identificadas.

En esta etapa se realizó una descripción profunda de la metodología desarrollada durante el presente proyecto evidenciando el conjunto de procedimientos de gestión y planificación de los elementos que componen el mismo, se explica cada una de las etapas representadas en la *Ilustración 3* que se encuentra soportada en los conceptos desarrollados en el marco teórico, la metodología presenta siete etapas que inician desde la consulta de

información hasta el análisis de los resultados con sus respectivas conclusiones basadas en los objetivos planteados al inicio del proyecto según la problemática planteada.



*Ilustración 3: Etapas de la metodología  
Fuente: Propia (2020)*

El proyecto de carácter aplicado denominado “Determinación de calidad del recurso hídrico del Río Fucha en los tramos 1 y 2 (ICACOSU)” Tiene como objetivo central determinar la calidad del agua del río Fucha por medio del ICACOSU para el cumplimiento de este objetivo se tienen que realizarlas siguientes actividades o procesos: identificación de los vertimientos, realizar los muestreos in-situ y ex-situ, determinar el valor del ICACOSU y comparar los resultados obtenidos de cada parámetro con los objetivos de calidad de la Resolución 5731 de 2008 que tengan afinidad. Teniendo presente la ejecución de las actividades para el cumplimiento satisfactorio del objetivo principal, aplicando principios de identificación, análisis y evaluación de la información investigada y recolectada en relación a la calidad del agua del río Fucha; este se llevó a cabo mediante soporte de la información

disponible por parte de las instituciones oficiales del estado y centros de educación superior en relación a temas legales, técnicos, sociales y ambientales ayudando a interpretar con mayor facilidad la información recolecta de las etapas de muestreo, laboratorio y análisis basados en su factibilidad.

### *3.1.Revisión documental*

En esta etapa inicial, se realizó la revisión de información documental mediante la consulta de normatividad y estudios relacionados con la protección y conservación de las fuentes hídricas en la ciudad de Bogotá. La búsqueda permitió la construcción del estado del arte y la ampliación del marco conceptual en cuanto a la planeación y ordenamiento estratégico del recurso hídrico a nivel local. De esta primera fase fue posible identificar aspectos relevantes, especialmente en cuanto al orden institucional, los objetivos de calidad y regulación en la descarga de vertimientos al sistema de alcantarillado y cuerpos de agua.

Teniendo claro los objetivos de calidad para el recurso hídrico de la ciudad de Bogotá establecidos por la SDA en la Resolución 5731 de 2008 véase en la tabla 10, se orientó la consulta a estudios de calidad del agua desarrollados por las autoridades locales o nacionales y universidades encontrando como antecedente un documento llamado “Calidad del sistema hídrico de Bogotá”, un estudio desarrollado por la SDA y la EAAB al eje hídrico de la ciudad que son el canal torca y los ríos Tunjuelo, Salitre y Fucha (Planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas, 2012).

### 3.2 Identificación de dinámicas Socio Ambientales

Para la ejecución del proyecto investigativo “determinación de la calidad del agua del río Fucha mediante el índice ICACOSU”, se realizaron una serie de recorridos con el fin de identificar características generales, condiciones geográficas y factores que alteran la calidad de agua para la obtención de información básica y generar el plan de estudio que orientó la investigación; así mismo se realizaron reuniones y acercamientos con la comunidad que permitieron recolectar información en relación a los actores que inciden directa e indirectamente en las causas de esta problemática ambiental, lo que aportó a establecer un punto partida para evidenciar las condiciones actuales en relación a los factores socio ambientales del entorno.

En el marco de la etapa de identificación de dinámicas socio ambientales se desplegaron las siguientes actividades:

*Tabla 10: Recorridos y Fechas del Estudio del Río Fucha*

| <b>Actividades</b>  | <b>Fecha</b>                      |
|---|-----------------------------------|
| Recopilación de información del estado actual del río, datos sobre el comportamiento del río en los parámetros fisicoquímicos y caudal, además de identificar las instituciones que tienen cobertura en el río y han ejecutado estudios para analizar la calidad del río. | 15 marzo 2018<br>al 26 abril 2018 |
| Análisis de la información que se obtuvo en la revisión documental secundaria además de los datos obtenidos por los muestreos de otras instituciones.   | 15 mayo 2018                      |
| Reunión con la Junta de Acción Comunal de la localidad de Rafael Uribe, Policía Nacional y grupos representantes de la universidad, para identificar cómo se comporta la comunidad con el río.  | 2 junio 2018                      |
| Jornada de encuestas y charla con la comunidad del Restrepo para evidenciar el comportamiento de las personas con el río.   | 9 junio 2018                      |
| Observar la trayectoria del río por medios de aplicativos geográficos.  | 12 junio 2018                     |

*Fuente: Propia*

### 3.3. Georreferenciación de vertimientos

Esta etapa estuvo constituida por las siguientes actividades que permitieron la recolección de datos generales y tener un punto de inicio en relación con el desarrollo de la georreferenciación de los vertimientos que afectan la calidad del agua.

*Tabla 11: Actividades para determinar los puntos a analizar*

| <b>Actividades</b>   | <b>Fecha</b>                       |
|--|------------------------------------|
| Recorrido de reconocimiento de puntos de vertimientos generados al río en los tramos 1 y 2       | 14 junio 2018                      |
| Análisis de los puntos de descargas con las anomalías encontradas y las condiciones demográficas | 6 agosto 2018 al 7 septiembre 2018 |
| Verificación de los puntos a muestrear para reducir las anomalías encontradas.                   | 14 febrero 2019                    |

*Fuente: Propia*

Para la caracterización de vertimientos se usó un formato denominado: identificación de vertimientos, que permitió recolectar la información necesaria para posteriormente adelantar los análisis correspondientes de los puntos más afectados y corroborarlos con las condiciones sociodemográficas.

| <i>Identificación de vertimientos</i> |                              |          |                 |                   |                    |  |
|---------------------------------------|------------------------------|----------|-----------------|-------------------|--------------------|--|
| Responsable                           |                              |          | Código          |                   |                    |  |
| Fecha de visita                       | DD                           | MM       | AA              | Hora              | No° de vertimiento |  |
| Ciudad                                | Localidad                    |          | Barrio          |                   |                    |  |
| Coordenadas                           | Latitud                      | Longitud | altitud         | MSNM              |                    |  |
| Rio                                   | Localización del vertimiento |          | Riviera Derecha | Riviera Izquierda |                    |  |
| <i>Observaciones</i>                  |                              |          |                 |                   |                    |  |
|                                       |                              |          |                 |                   |                    |  |

*Ilustración 4: Ficha para la identificación de vertimientos*  
Fuente: Propia (2020)

Mediante la implementación de la técnica de posicionamiento espacial denominada georreferenciación se tomaron las coordenadas de la ubicación geográfica donde se encuentran ubicados los vertimientos.

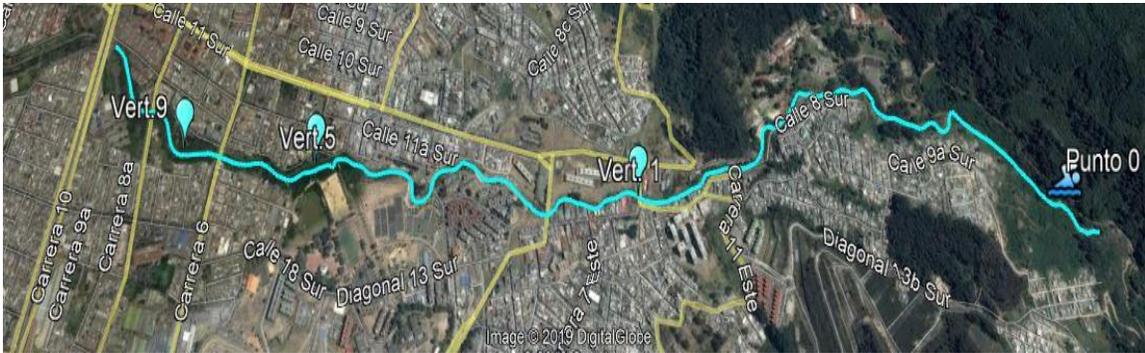
En el recorrido de reconocimiento se identificaron 27 puntos de vertimientos.

*Tabla 12: Tabla de Identificación de Vertimientos del Río Fucha*

| <b>Tabla de georreferenciación de vertimientos</b> |   |                    |                |
|--|---|--------------------|----------------|
| <b>NT</b>  | <b>Características</b>  | <b>Coordenadas</b> |                |
| <b>T<br/>R<br/>A<br/>M<br/>O<br/><br/>1</b>        | Reserva ecológica los delirios, nacimiento del río.   | 4°23'50" N         | 54°4'8" W      |
|  | Tubo de agua sin color sobre la carrera 12.   | 4°34'15.2" N       | 74°4'37.7" W   |
|  | Punto de vertimiento de aguas lluvias.  | 4°34'16.9" N       | 74°4'39.8" W   |
|  | Estructura de salida de agua sobre transversa 1°. Este no se evidencia la salida de agua.       | 4°34'29.1" N       | 74°5'57.3" W   |
|  | Punto de vertimiento de una canal con líquido de color gris en donde su caída se concentra.     | 4°34'32.5" N       | 74°5'06.3" W   |
|  | Caída de agua cascada.  | 4°34'32.1" N       | 74°05'07.9" W  |
|  | Caída de agua cascada entre Carrera 5b y Carrera 5a.  | 4°34'35.8" N       | 74°05'13.3" W  |
|  | Caída de agua cascada entre puente Carrera 6.   | 4°34'38.07" N      | 74°05'16.08" W |
|  | Inicio de canal y punto de vertimiento de agua lluvia.  | 4°34'39.1" N       | 74°05'17.6" W  |
|  | A 50 metros después del inicio del canal.   | 4°34'40.4" N       | 74°05'20.4" W  |
|  | Punto de vertimiento después del puente de la carrera 8 por un costado del hospital San Rafael. | 4°34'44.7" N       | 74°05'25.1" W  |
|  | Puente peatonal después del inicio del canal.   | 4°34'55.5" N       | 74°05'31.9" W  |

|                               |   |                |                |
|-------------------------------|---|----------------|----------------|
|                               | Dos salidas de agua para evacuación de emergencia del Sistema de alcantarillado entre la Carrera 11a y Carrera 11b. | 4°34'37" N     | 74°05'80" W    |
| T<br>R<br>A<br>M<br>O<br>2    | Punto de vertimiento de color naranja en la avenida caracas.  | 4°35'05.29" N  | 74°05'43" W    |
|                               | Después del puente de la avenida caracas.   | 4°35'06.35" N  | 74°05'45.53" W |
|                               | Puente peatonal de carrera 24b.   | 4°35'30.96" N  | 74°06'04.35" W |
|                               | Salidas de agua para evacuación de emergencia del Sistema de alcantarillado sobre la rotonda de la Carrera 27.      | 4°35'41.06" N  | 74°06'13.85" W |
|                               | Punto de vertimiento de menor escala después de la carrera 30.  | 4°35'53.11" N  | 74°06'41.78" W |
|                               | Punto de vertimiento de menor escala de color naranja en la carrera 34.   | 4°35'55.11" N  | 74°06'41.78" W |
|                               | Sobre el puente peatonal de carrera 35a.  | 4°35'56.71" N  | 74°06'45.09" W |
|                               | Punto de vertimiento de agua lluvia en el puente carrera 36.  | 4°35'58.56" N  | 74°06'50.34" W |
|                               | Punto de vertimiento de una canal denominada albina en la carrera 39.   | 4°36'04.73" N  | 74°06'59.36" W |
|                               | 50 metros después del vertimiento de la canal albina.   | 4°36'05.79" N  | 74°07'00.12" W |
|                               | Punto de vertimiento de agua residual.  | 4°36'05.17" N  | 74°07'3.74" W  |
|                               | Punto de vertimiento de agua residual del puente peatonal de la carrera 40.   | 4°36'15.42" N  | 74°07'04.93" W |
|                               | Punto de vertimiento de agua residual.  | 4°36'18.42" N  | 74°07'0.24" W  |
| En la carrera 50 punto final. | 4°36'26.84" N   | 74°07'08.50" W |                |

*Fuente: Propia*



*Ilustración 5: Puntos de muestreos Tramo 1 Río Fucha  
Fuente: Propia*



*Ilustración 6: Puntos de muestreos Tramo 2 Río Fucha  
Fuente: Propia*

### *3.4. Establecer Puntos de Muestreo*

Después de analizar los datos obtenidos en las actividades de caracterización de vertimientos y georreferenciación se procedió a establecer 10 puntos de muestreo teniendo en cuenta las distancias entre estos y el grado de impacto de los vertimientos identificados, buscando que los análisis fueran más precisos y objetivos en relación con la calidad del agua de la fuente.

Los criterios generales que se consideraron para la selección de los puntos de muestreo expresados en la tabla 13 fueron los siguientes: el ingreso de los afluentes; la dinámica urbana; las características organolépticas que presentaron en color y olor; el cambio que se puede evidenciar a lo largo de los tramos 1 y 2 teniendo en cuenta las distancias entre los puntos y la influencia de la canalización del río; la facilidad de acceso y el presupuesto para la ejecución del proyecto.

A continuación se describirá cada uno de los puntos de muestreo en relación a los criterios generales mencionados en el párrafo anterior; el primer punto fue seleccionado para tener conocimiento en qué condiciones ingresa el río al casco urbano teniendo en cuenta que en este punto el río no ha recibido ningún impacto de origen antrópico; el segundo punto fue seleccionado porque las condiciones de acceso eran viables y se evidenció varios vertimientos puntuales de origen doméstico y fluvial además de una caída de agua de procedencia desconocida; el tercer punto fue seleccionado porque tiene una desembocadura del río San Blas el cual presenta unas características organolépticas: color café oscuro, olor putrefacto y agua estancada, además a unos cien metros de esto existe una caída de agua en la cual se acumulan sobre la superficie del agua varios residuos sólidos que recoge el río; el cuarto punto fue seleccionado porque tiene una facilidad de acceso además que en este punto el río se canaliza y se quiere determinar cómo esto influye en los parámetros de calidad de agua de la cuenca hídrica; el quinto punto fue seleccionado porque es de fácil acceso y se evidencio unos metros antes un punto de vertimiento formando sobre la superficie del río una capa de espuma con acumulación de residuos; los puntos de muestro seis, siete y ocho se seleccionaron teniendo en cuenta la facilidad de acceso y porque durante su trayecto se observó la presencia de un número importante de habitantes de calle que generan descargas con aportes de cargas orgánicas y residuos sólidos a la fuente hídrica; el punto nueve fue escogido porque se pretende evidenciar cual es la influencia del Canal Albina en la calidad del río Fucha y el punto diez tiene la finalidad de verificar la alteración que genero el canal Albina además de que en ese sitio finaliza el tramo 2.

Tabla 13: Puntos de mayor influencia en el río Fucha

| Nº | CARACTERÍSTICAS  | COORDENADAS    | FOTOGRAFÍA  |
|----|--|----------------|---|
| 1  | Reserva ecológica de los delirios, nacimiento del río. | 4°23'50" N     |    |
|    |  | 54°4'8" W      |   |
| 2  | Tubo de agua sin color sobre la carrera 12             | 4°34'15.2" N   |    |
|    |  | 74°4'37.7" W   |   |
| 3  | Caída de agua cascada                                  | 4°34'32.1" N   |    |
|    |  | 74°05'07.9" W  |   |
| 4  | A 50 metros después del inicio del canal               | 4°34'40.4" N   |  |
|    |  | 74°05'20.4" W  |   |
| 5  | Puente peatonal después del inicio del canal.          | 4°34'55.5" N   |  |
|    |  | 74°05'31.9" W  |   |
| 6  | Después del puente de la avenida caracas               | 4°35'06.35" N  |  |
|    |  | 74°05'45.53" W |   |
| 7  | Puente peatonal de carrera 24b                         | 4°35'30.96" N  |   |

|    |   |                |  |
|----|---|----------------|--|
|    |   | 74°06'04.35" W |   |
| 8  | Sobre el puente peatonal de carrera 35a.              | 4°35'56.71" N  |   |
|    |   | 74°06'45.09" W |  |
| 9  | 50 metros después del vertimiento de la canal alvina. | 4°36'05.79" N  |   |
|    |   | 74°07'00.12" W |  |
| 10 | En la carrera 50 punto final.                         | 4°36'26.84" N  |  |
|    |   | 74°07'08.50" W |  |

*Fuente: Propia*

### *3.5. Muestreo de parámetros In situ*

En el proceso in situ se adelantó el muestreo y la medición de los parámetros pH, conductividad y temperatura mediante la utilización del equipo multiparámetro PHYWE Modelo Cobra 4; y se determinó el caudal mediante el método de flotación.

#### *Caudal:*

Medición de caudal por el método por flotación.

Materiales: objetos flotantes (ping pong), un cronómetro, una cinta métrica, una regla, una cuerda y estaca.

Para la medición del caudal se seleccionó un tramo uniforme en el afluente, sin piedras grandes ni troncos de árboles, permitiendo que el agua fluya libremente de forma lineal.

Se determinó el punto A como inicio y se tomaron las profundidades en el punto medio  $\frac{1}{2}$  a la derecha y  $\frac{1}{2}$  a la izquierda, después desde el punto A se tomaron treinta metros de distancia para determinar el punto B.

Se dejó deslizar el pin pon en el punto A sobre la mitad del río, cronometrando su transcurso hasta llegar al punto B, repetirlo por cinco veces. Ejecutando los cálculos.

Caudal: volumen/tiempo; el volumen: base\*altura (IDEAM, 2010).

$$\text{Volumen: } base * altura \text{ (9)}$$

*pH:*

Para la toma del pH se calibró el equipo multiparámetro PHYWE Modelo Cobra 4, posterior a eso se recolectó una muestra en un punto medio del río y almacenada en un balde el cual recogió el agua superficial. Ubicando el electrodo dentro de la muestra recolectada, esperando a que arrojará lectura de dato, se lavó el electrodo con agua des ionizada y se repitió el procedimiento cinco veces (Afanador, 2007).

*Conductividad:*

Para la medición de la conductividad se calibró primero el equipo multiparámetro PHYWE Modelo Cobra 4, posterior a eso se recolectó una muestra en el punto medio del río.

Se ubicó el electrodo dentro de la muestra recolectada, esperando que este indicara un valor estático, se lavó el electrodo con agua des ionizada y se repitió el procedimiento cinco veces (Suarez, 2006).

### *Temperatura:*

Para la toma de la temperatura se calibró el equipo multiparámetro PHYWE Modelo Cobra 4, esperando a que este quedara en cero y posterior a eso se recolectó una muestra en el punto medio del río.

Se ubicó el sensor dentro de la muestra recolectada, esperando hasta que este indicara un valor estable, se lavó el electrodo con agua des ionizada y se repitió el procedimiento cinco veces.

### *3.6. Muestreo de Parámetros Ex situ y Procedimientos de Laboratorio*

Las muestras obtenidas en esta etapa son parámetros que se analizaron en el laboratorio mediante los instrumentos y procedimientos que se describen a continuación:

#### *Coliformes*

Se esterilizaron las cajas Petri, tubos de ensayo, pipetas, Erlenmeyer, buretas y rastrillos en una autoclave por 4 horas, seguido se prepararon las disoluciones aplicando en un Erlenmeyer 8.1g de peptona en 900ml de agua destilada, diluyendo la muestra hasta que quedara homogénea por medio de un agitador magnético, se selló y llevó a la autoclave (Navarro Roa, 2007)

Posteriormente, se preparó la dilución de las cajas Petri aplicando en un Erlenmeyer 51.1g de agar en 1000ml de agua destilada, se diluyó la muestra hasta que quedara homogénea por medio de un agitador magnético, se selló y refrigeró por unos minutos para llevarlo a la autoclave por tres horas y repetir el procedimiento diez veces (Navarro Roa, 2007).

Cuando todo el material se esterilizó se acondicionó un espacio que se encontraba aislado de agentes externos, se realizó limpieza de los mesones con alcohol y se utilizaron

los elementos de protección personal (guantes, tapabocas y bata). Se encendieron los mecheros bunsen para ubicar alrededor de estas las cajas Petri, se medió destaparon y se aplicó el agar, se dejó descubierto por cinco minutos, se sellaron y se trasladaron a la nevera (Navarro Roa, 2007).

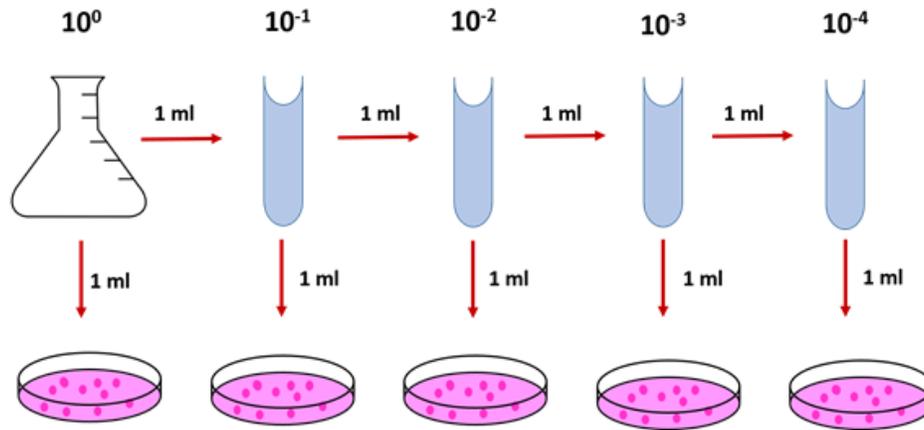
#### ***Recolección de muestra:***

Un recipiente de polipropileno de 500 ml se llenó con el agua a analizar en un punto medio del cauce hasta que se llenó en su totalidad y se selló; se mantuvo la muestra refrigerada en un tiempo no mayor a 24 horas (Navarro Roa, 2007).

#### ***Laboratorio***

Se desinfectó el área de trabajo y se usaron los elementos de protección personal (guantes, tapabocas, gafas y bata), posterior a eso se prendió el mechero bunsen y se ubicaron cuatro kits de cajas Petri con el agar, pipetas y rastrillo, además de cinco tubos de ensayo, una gradilla y un pipeteado por cada kit. (Navarro Roa, 2007)

Se realizaron las cinco diluciones por cada muestra (diez), Preparación de dilución  $10^0$ ; se tomó un mililitro de la muestra de agua residual sin ser diluida. Preparación de dilución  $10^{-1}$ ; se tomó un mililitro de la muestra de agua y mezcló con nueve mililitros de agua destilada en un tubo de ensayo. Preparación de dilución  $10^{-2}$ ; se tomó un mililitro de la dilución anterior ( $10^{-1}$ ) y se mezcló con nueve mililitros de agua destilada en un tubo de ensayo. Preparación de dilución  $10^{-3}$ ; se tomó un mililitro de la dilución anterior ( $10^{-2}$ ) y se mezcló con nueve mililitros de agua destilada en un tubo de ensayo. Preparación de dilución  $10^{-4}$ ; se tomó un mililitro de la dilución anterior ( $10^{-3}$ ) y se mezcló con nueve mililitros de agua destilada en un tubo de ensayo. Solamente en los tres primeros puntos de muestreo se realizó la incubación de la dilución  $10^0$ . (Navarro Roa, 2007)



*Ilustración 7: Muestreo de Laboratorio*  
*Fuente: Paocolacao*

Se tomó un mililitro de cada dilución y se dispersó en una caja Petri, se realizaron por duplicado. Se ejecutó la disolución con la misma pipeta, se inició con la disolución más alta  $10^{-4}$  y finalizó con la dilución más baja. Se extendió el mililitro con el rastrillo sobre la superficie de cultivo y en cada procedimiento se usó un nuevo rastrillo. Se encubó a  $35^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas y se repitió la actividad 10 veces. Se retiraron las cajas Petri del horno y se llevaron a la nevera para que las colonias no se reprodujeran más y lleguen a ser valores incontables.

Se realizaron los conteos, sacando las cajas Petri de la nevera y poniéndolas en el mesón desinfectado, ubicar una por una las cajas Petri en el contador de colonias, dividir este en cuatro secciones iguales y contar cada sección las colonias rojas o rosas denotadas como E-coli y luego las colonias incoloras o grisáceas denotadas como Coliformes, después sumar todas las colonias para formar los Coliformes totales (Navarro Roa, 2007)

### *Sólidos suspendidos totales*

#### ***Recolección de muestra***

En un recipiente de polipropileno de 500ml se depositó agua a analizar en un punto medio del cauce hasta que se llenó y posteriormente se selló y se mantuvo la muestra refrigerada en un tiempo no mayor a 24 horas. (Carpio Galvan, 2007)

#### ***Laboratorio***

Se montó el sistema de filtración, pesando el papel filtro P<sub>1</sub>, se puso el papel filtro dentro del embudo, mientras se separaban 100 mililitros del agua recolectada para así empezar a filtrar, se esperó a que decantara toda el agua para luego llevar el papel filtro al horno por treinta minutos, posterior a eso se pasó el filtro al desecador por veinte minutos y para terminar se pesó el papel después de todo el proceso P<sub>2</sub> y se realizó esta actividad por duplicado. (Carpio Galvan, 2007)

### *Demanda biológica de oxígeno:*

Para la ejecución del laboratorio de la DBO se contrató a un tercero quien es una entidad acreditada bajo la Resolución 20308 la cual autoriza a la empresa Allchem Compañía LTDA, a producir información cuantitativa física, química y biológica para los estudios requeridos relacionados con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

#### ***Recolección de muestra***

En un recipiente de polipropileno de 1000ml se depositó agua a analizar en un punto medio del cauce hasta que se llenó y posteriormente se selló, se mantuvo la muestra refrigerada en un tiempo no mayor a 24 horas y se continuó con la cadena de custodia hasta el laboratorio contratado Allchem.

### ***Laboratorio***

Preparación de la muestra y pretratamiento: Se llevó a cabo un chequeo del pH de las muestras. Si las muestras no tienen el pH entre 6,0 y 8,0 ajustar el pH entre 7,0 y 7,2 y la temperatura debe ajustarse a 20 °C +/-3 usando las soluciones de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y NaOH,

Se verificó la presencia de cloro residual en la muestra según el procedimiento técnico PT-LA-056 y registró el resultado obtenido. Si la muestra contiene cloro residual se debe poner la muestra en agitación y adicionar tiosulfato de sodio 0.02N (solución estandarizada) utilizando almidón como solución indicadora; hasta fin de cloro en la muestra (incolora). La cantidad de tiosulfato de sodio se determinó de la siguiente manera:

Se midió una alícuota de 100mL de la muestra

Se adicionaron 10 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:50

Se adicionó 1g de KI

Titular con tiosulfato de sodio 0.02 N

Se calculó el volumen necesario de tiosulfato de sodio para neutralizar el cloro; realizando la proporción de la cantidad de los mililitros utilizados para neutralizar la muestra, con respecto a las alícuotas a sembrar.

### ***Demanda química de oxígeno***

#### ***Recolección de muestra***

En un recipiente de polipropileno de 1000ml se depositó agua a analizar en un punto medio del cauce hasta que se llenó y posteriormente se selló, se mantuvo la muestra refrigerada en un tiempo no mayor a 24 horas y se continuó con la cadena de custodia llevándolo al laboratorio de Allchem.

Para la ejecución del laboratorio de la DQO se contrató a un tercero quien es una entidad acreditada bajo la resolución 20308 la cual autoriza a la empresa Allchem Compañía LTDA, a producir información cuantitativa física, química y biológica para los estudios requeridos relacionados con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

### ***Laboratorio***

#### Medida de la cantidad de DQO

En cada uno de los balones se adicionaron 10mL de la muestra, 0,2g de  $\text{HgSO}_4$  y se mezcló. Se adicionaron 10mL de solución de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , 5N para muestras con alta DQO y 0,05N para muestras con baja DQO y se mezcló. Se agregaron lentamente 15mL del reactivo de ácido sulfúrico, para disolver el  $\text{HgSO}_4$ .

Nota: Agitar muy bien la mezcla de reflujo antes de suministrar calor para prevenir el sobrecalentamiento en el fondo del balón y la formación de espuma.

Se cubrió el extremo superior del condensador con un vaso pequeño para prevenir la entrada de materiales extraños a la mezcla y se dejó en reflujo durante 2 horas.

Se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y valorar el exceso de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  con FAS 0,25M para muestras con alta concentración y 0,025M para muestras con baja DQO en presencia de 0,10 a 0,15mL (2 o 3 gotas) de indicador de ferroína. Se utilizó la misma cantidad de ferroína para todas las determinaciones.

Se tomó como punto final de la titulación el primer cambio nítido de color azul-verdoso a café-rojizo; es importante tener presente que el color azul-verdoso puede reaparecer. El cambio de color no fue tan marcado como en la titulación del blanco de reactivos debido a la mayor concentración de ácido en la muestra.

### ***Cálculos***

La demanda química de oxígeno en la muestra se calculó de la siguiente forma:

$$DQO \text{ como } mg \text{ O}_2/L = \frac{(A-B)*N*8*1000}{ml \text{ de muestra}} \quad (10)$$

Donde:

A: Volumen de FAS consumidos por el blanco (mL)

B: Volumen de FAS consumidos por la muestra (mL)

M: Molaridad del FAS

8000: Peso miliequivalente del oxígeno x 1000mL/L

*Oxígeno disuelto:*

### ***Recolección de muestra***

En una botella Winkler de 300ml se recolectó la muestra llenando por completo el recipiente y sellándolo dentro del río; para conservar la muestra se le agregara un mililitro de sulfato de manganeso y un mililitro de álcali-yoduro-azida, se mezcló varias veces y se dejó que precipitara la muestra, se mantuvo la muestra refrigerada en un tiempo no mayor a 24 horas siguiendo la cadena de custodia para posteriormente ser entregada al laboratorio contratado Allchem el cual se encuentra habilitado y certificado por el IDEAM para realizar este tipo de análisis.

Para la ejecución del laboratorio de la OD se contrató a un tercero quien es una entidad acreditada bajo la resolución 20308 la cual autoriza a la empresa Allchem Compañía LTDA, a producir información cuantitativa física, química y biológica para los estudios requeridos relacionados con la calidad del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.

## ***Laboratorio***

Muestras sobresaturadas con Oxígeno Disuelto: Muestras que contienen una concentración de oxígeno por encima de la saturación a 20°C, pueden ser encontradas en aguas frías o en aguas donde la fotosíntesis ocurra. Para prevenir la pérdida de oxígeno durante la incubación de tales muestras, reducir el Oxígeno Disuelto de saturación mediante una vigorosa agitación de la muestra en una botella parcialmente llena o se burbujea aire limpio comprimido y filtrado a una temperatura de 20°C ± 3 °C.

Preparación del agua de dilución: Antes de utilizar el agua de dilución se llevó a temperatura de 20°C ± 3 y se saturó con oxígeno disuelto por burbujeo de aire filtrado libre de materia orgánica o saturación. Se empleó material limpio para proteger la calidad del agua.

Se aplicó aire al agua por dos horas mínimo, utilizando un aireador (bomba de acuario), que se encuentra disponible en el laboratorio; se adicionó 1mL de las soluciones de buffer de fosfatos, MgSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, y de FeCl<sub>3</sub>, por cada Litro preparado de agua de dilución aireada.

Dilución de las muestras: Usando el agua de dilución preparada se realizaron de 3 a 5 diluciones de la muestra para producir OD residual de 1,0mg/L y un consumo de al menos 2,0mg/L después de 5 días de incubación. Nota: Si no se tiene conocimiento de la dilución a utilizar se puede utilizar la siguiente información:

*Tabla 14: Dilución para concentración*

| <b>Tipo de muestra</b>                      | <b>% Dilución</b> |
|---|-------------------|
| Aguas industriales fuertemente contaminadas | 0,01- 1,0         |
| Aguas crudas residuales                     | 1,0 - 5,0         |
| Afluentes tratados biológicamente           | 5,0 - 25,0        |
| Aguas contaminadas de río                   | 25,0 – 100        |

*Fuente: ALLCHEM*

## *Siembra*

Se agregó una cantidad de agua de dilución a  $20 \pm 3^\circ\text{C}$  a cada una de las botellas, seguido se adicionó la cantidad de muestra a incubar con una pipeta o probeta y se mezcló.

Nota: Si la muestra debe ser inoculada (se analiza que tenga concentraciones bajas de materia orgánica o que contengan hidrocarburos) en este momento se le adicionan 4mL de inóculo preparado. Para tal caso se debe hacer un blanco con este inóculo.

Se llevaron a volumen las botellas con el agua de dilución con el fin de crear un sello hidráulico, teniendo la precaución de no dejar burbujas al tapar.

Calibración del oxímetro: El equipo se calibró como lo estipula el instructivo para el manejo del multiparámetro

Determinación del OD inicial: Se realizó la lectura del oxígeno disuelto inicial con el oxímetro para todas las muestras de dilución, en los blancos de agua de dilución y en las muestras sembradas, evitando que el electrodo tuviera burbujas.

Incubación de las muestras: Se incubaron a  $20^\circ\text{C} \pm 1$  por 5 días todas las botellas que contenían soluciones preparadas, control del inóculo, blanco de agua de dilución y la verificación con la solución de glucosa-ácido glutámico.

Determinación final de DO: Después de 5 días  $\pm$  6 horas de incubación se determinó el Oxígeno Disuelto de todas las muestras de dilución, de los blancos de agua y la verificación de la solución de glucosa-ácido glutámico.

## Cálculos

Si el agua de dilución no se inocula el cálculo de OD se realiza de la siguiente forma:

$$mg\ de\ \frac{OD}{l} = \frac{Volumen\ Na_2S_2O_3 * Normalidad\ Na_2S_2O_3 * 8000 * Volumen\ de\ botella}{mL\ de\ muestra\ valorada * (volumen\ de\ la\ botella - 2)} \quad (11)$$

Dónde:

**O<sub>inicial</sub>**: DO de la muestra inmediatamente después de la preparación (mg/L).

**O<sub>final</sub>**: DO de la muestra después de 5 días de incubación a 20°C (mg/L).

**O Blanco de inoculado**: Consumo de oxígeno del blanco inoculado.

**V<sub>Botellas</sub>**: Volumen de la botella en mL.

**V<sub>Mta</sub>**: Volumen de la muestra

**FD**: factor de dilución.

## Capítulo 4 Resultados y Análisis

A continuación, se presenta el consolidado de los valores sobre los resultados obtenidos del cálculo del ICACOSU este está conformado por ICACOSU<sub>FA</sub> este contiene los valores de subíndice de porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, coliformes, solidos suspendidos totales, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, conductividad eléctrica y pH multiplicados por un porcentaje dependiendo para cada parámetro; luego se analiza el ILCAG el cual corresponde al índice de capacidad ambiental el cual corresponde a un valor de 0,333. Dándole continuidad al desarrollo de la formula mencionada en el párrafo anterior se obtienen los siguientes resultados (véase la tabla 15), los datos con la fuente azul resaltan los parámetros que no cumplen con los objetivos de calidad a 10 años mencionados en la resolución 5738 de 2008.

Después de haber calculado el ICACOSU el método ofrece una calificación de los resultados de la calidad del recurso hídrico en colores descritos así: verde (buena), amarillo (regular), naranja (mala) y rojo (muy mala).

Tabla 15: Análisis de Resultados - del Río Fucha

| Punto | OD<br>(mgO <sub>2</sub> /L) | E-coli<br>(UFC/ml) | SST<br>(mg/L) | DBO<br>(mgO <sub>2</sub> /L) | DQO<br>(mgO <sub>2</sub> /L) | CE<br>(µs) | pH<br>Und. | T <sup>a</sup> .<br>(°C) | Q<br>(L/s) | Coliformes<br>(UFC/ml) | ICACOSU |
|-------|-----------------------------|--------------------|---------------|------------------------------|------------------------------|------------|------------|--------------------------|------------|------------------------|---------|
| 1     | 9,75                        | 0,0                | 20,17         | <5                           | <10                          | 13,75      | 6,96       | 10,93                    | 1.438,12   | 0,0                    | 0,73    |
| 2     | 9,30                        | 2,0                | 96,30         | 12,54                        | 15,24                        | 28,3       | 7,25       | 11,78                    | 1.521,31   | 17,0                   | 0,71    |
| 3     | 4,45                        | 96,0               | 56,45         | 39,05                        | 47,75                        | 173,0      | 7,88       | 13,70                    | 1.044,53   | 40,0                   | 0,57    |
| 4     | 9,95                        | 112,0              | 24,00         | 39,82                        | 61,95                        | 165,9      | 7,86       | 14,02                    | 5.252,03   | 12,0                   | 0,44    |
| 5     | 3,50                        | 122,5              | 109,90        | 93,83                        | 112,78                       | 186,7      | 7,75       | 14,40                    | 1.025,86   | 61,0                   | 0,51    |
| 6     | 3,05                        | 16,0               | 44,00         | 90,79                        | 116,84                       | 204,0      | 7,54       | 14,76                    | 2.960,79   | 73,0                   | 0,53    |
| 7     | 1,15                        | 69,0               | 196,00        | 151,67                       | 181,86                       | 225,0      | 7,42       | 15,23                    | 1.644,32   | 55,0                   | 0,39    |
| 8     | 2,25                        | 10,0               | 301,08        | 83,04                        | 99,57                        | 211,2      | 7,42       | 15,68                    | 3.958,67   | 1,0                    | 0,44    |
| 9     | 3,5                         | 36,0               | 330,58        | 47,44                        | 58,93                        | 215,2      | 7,39       | 15,84                    | 2.094,44   | 50,0                   | 0,43    |
| 10    | 0,95                        | 3,0                | 170,45        | 144,00                       | 172,72                       | 323,0      | 7,59       | 17,40                    | 4.884,21   | 31,0                   | 0,47    |

Fuente: Propia

En la tabla se puede observar los consolidados de todos los datos obtenidos en el muestreo de los parámetros in-situ y ex-situ realizados en los tramos 1 y 2 del río Fucha, además del cálculo del ICACOSU.

En relación con el tramo 1, comprendido por los puntos de muestro del uno al cuatro, se aprecia que los puntos 1 y 2 arrojan un ICACOSU bueno, cumpliendo con los parámetros establecidos en la Resolución 5731 de 2008, a excepción de los valores de SST y de DQO, valores que, si bien están por fuera del intervalo establecido por la normativa, no logran afectar el ICACOSU.

Según valores del ICACOSU en los puntos de muestreo 3 y 4 la calidad del agua disminuye a un estado regular y malo según su orden, teniendo en cuenta que el estado del agua es regular porque cuatro de los nueve parámetros no se ajusta a lo establecido en la norma superando los niveles permisibles.

Profundizando el análisis en el tramo 1, la condición de calidad en los puntos iniciales presenta una clasificación buena, ya que no se reportaron coliformes fecales y totales en los resultados para el primer punto del río, por tratarse de zona de reserva y protección ambiental donde aún no hay contacto con la población; el OD en los puntos uno y dos es favorable en comparación de los otros dos puntos indicando que hay una gran cantidad de oxígeno liberado en el agua debido a que el lecho del río es pedregoso, aumentando la circulación conllevando a la absorción del oxígeno entre el aire y la superficie de la fuente; es importante resaltar que en estos puntos las características bióticas son favorables teniendo en cuenta que hay un elevado componente en flora disminuyendo los niveles de dióxido de carbono y aumentando la producción de oxígeno permitiendo un mayor intercambio de oxigenación entre el agua y la atmósfera. Estas condiciones en donde el oxígeno libre favorece a que hay

presencia de fauna, flora y microorganismos; siendo este un indicador de buena calidad del agua (Descripción de indicadores, 2015).

En el punto tres, ya se evidencia un detrimento en la calidad del agua del río, evidenciable en los valores de OD y DBO, esto se debe a la entrada del río San Blas, efluente que ha recorrido gran parte de la zona urbana de San Cristóbal y que evidentemente tiene una carga importante de materia orgánica y sólidos suspendidos, que afecta las características del cuerpo de agua receptor. Se suma a esto, que en el punto cuatro, el río es canalizado, esto hace que la estructura de un río como tal se pierda y empiece a presentar alteraciones en la composición, haciendo perder la capacidad de resiliencia en la depuración de contaminantes (Nihon Kasetsu, 2020). Es de resaltar que antes del punto cuatro, se presenta una diferencia de altitud en el cuerpo de agua haciendo cambiar la concentración del OD, mejorando su nivel de concentración. Condición geográfica que también hace que el caudal aumente de manera significativa.

Es evidente que cuando el cuerpo de agua se integra con la zona urbana de la ciudad, aumenta la presencia de coliformes según el punto tres de muestreo correspondiente al tramo 1; este aumento de ese parámetro hace que la fuente hídrica disminuya la calidad según ICACOSU pasando de una calidad buena a una regular manteniéndose y posteriormente presentado una mejora leve en su calidad.

Respecto al tramo 2, comprendido por los puntos del cinco al diez, se evidencia que los puntos cinco y seis presentan un estado regular y que los demás presentan un estado de mala calidad hasta culminar el tramo 2, esto se debe al cambio significativo concentración de sólidos el cual disminuye el oxígeno disuelto y la demanda biológica de oxígeno valores que también se encuentran por fuera del rango establecido por la norma, observando que el

en el punto seis cambian los parámetros significativamente con respecto a los sólidos suspendidos totales y el oxígeno disuelto.

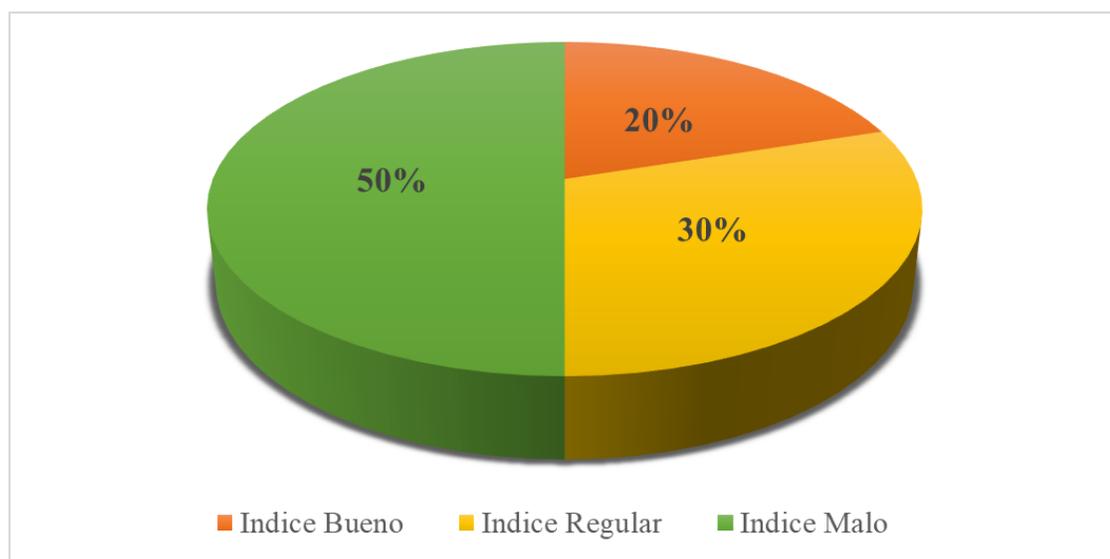
Según valores del ICACOSU todos los puntos del tramo 2 presentan una baja calidad del agua evidenciándose en los últimos cuatro puntos disminuyendo su estado de calidad de regular a malo, esto se puede afirmar basándonos en los valores obtenidos de la tabla 11 donde se observó que la calidad del recurso hídrico tiene una tendencia a desmejorar, además de que el ICACOSU y los objetivos de calidad tienen en común seis parámetros y de estos, cinco de ellos no se ajustaron a lo establecido por la Resolución 5731 de 2008, superando los niveles permisibles.

Profundizando el análisis en el tramo 2, se observa que el comportamiento de coliformes en el río es de una tendencia general a descender las unidades formadores de colonias, teniendo una disminución abrupta en el punto ocho, esto es debido a que se evidenciaron varias micro descargas por medio de escorrentía con características organolépticas de color amarillo intenso; siendo de importancia decir que se presume que estos tipos de vertimientos presentan cargas de cloro gaseoso y minerales como hierro y manganeso los cuales hacen que se presente una disminución en la población de bacterias y microorganismo (Parra , 2020). De igual manera, se aleja el cuerpo de agua de asentamientos domésticos para iniciar su paso a un sector industrial.

En cuanto al parámetro de OD, se puede evidenciar que hay una pérdida significativa a lo largo del tramo, esto pudo ser causado porque el río dejó de tener las características de este y ya no se presentan en su recorrido lecho pedregoso o turbulento que ayude a que allá una oxigenación en este, además en su ecosistema es muy limitada la vegetación pero muy intensificada la infraestructura de vivienda con una gran población cercano al río, por ende

el recurso hídrico se limita en su oxigenación. Se resalta también que a la altura del punto 7 se observa un paso muy lento y de poca variación de altitud, lo que genera un ambiente lenticó.

Otro aspecto importante para el análisis en este estudio fue la variación del flujo entre los diferentes puntos de muestreo, encontrando valores de caudal en un rango de 1.025 L/s a 5252 L/s. La principal explicación a la variación del flujo en el tramo de estudio se atribuye a las condiciones hidráulicas propias de la fuente, así como a la incorporación de afluentes y de algunos vertimientos. Los cambios más drásticos en el flujo se observaron entre los puntos 9 y 10, lugar en el que convergen las aguas negras del canal Albina, y donde fue posible identificar una alteración en las propiedades organolépticas de la fuente, así como un aumento en el caudal. Para los índices calculados en cada uno de los puntos, se concluye que la calidad del agua para los tramos 1 y 2 de esta fuente hídrica no presenta buena calidad y se limitan sus usos potenciales (Ilustración 8).



*Ilustración 8: Análisis de calidad de la fuente.  
Fuente: Propia*

Analizando los resultados obtenidos en relación al pH se indica que los diez puntos de muestreo oscilan en un rango entre 6,9 y 7,9 unidades de pH, evidenciando que alta capacidad amortiguadora y la inexistencia de vertimientos ilegal de carácter industriales; por lo que el tramo uno cumple con lo establecido en la resolución 5731 de 2008. Si bien el tramo dos no cumple con lo establecido en la norma, la variación es tan solo entre 7,54 a 7,59 unidades de pH lo que es considerado un valor de pH neutro.

La conductividad es un parámetro que no tiene un calificativo en relación a los objetivos de calidad establecidos por la autoridad ambiental se adelantó la recolección de esta información como valor agregado ya que el análisis de este dato es útil para poder analizar la capacidad de depuración de la fuente hídrica, en relación a los resultados obtenidos sobre la conductividad esta presenta un comportamiento ascendente debido a las micro descargas puntuales y de escorrentía en el avance del río indicando que estos vertimiento contienen cargar orgánicas de origen residencial aumentando la presencia de sales de forma progresiva.

#### 4.1 Caudal



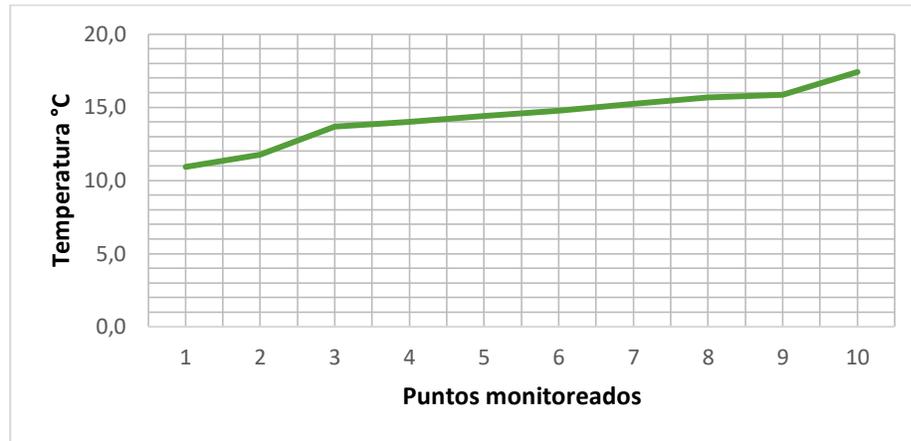
*Ilustración 9: Caudal del Río Fucha  
Fuente: Propia*

| <b>Ancho<br/>Caudal (cm)</b> | <b>Profundidad (cm)</b> |         |           |
|------------------------------|-------------------------|---------|-----------|
|                              | Derecha                 | Central | Izquierda |
| <b>960</b>                   | 22                      | 74      | 11        |
| <b>870</b>                   | 21                      | 27      | 7,8       |
| <b>992</b>                   | 23                      | 33      | 27        |
| <b>680</b>                   | 5                       | 5       | 9         |
| <b>850</b>                   | 19                      | 32      | 19        |
| <b>710</b>                   | 3                       | 24      | 8         |
| <b>780</b>                   | 12                      | 30      | 10        |
| <b>850</b>                   | 7                       | 24      | 6         |
| <b>910</b>                   | 8                       | 26      | 10        |
| <b>1160</b>                  | 6                       | 30      | 7         |

*Tabla 16: datos de cálculos para el caudal - del Río Fucha  
Fuente: Propia*

En la ilustración No. 9 se puede observar el comportamiento del cauce del río Fucha a lo largo del tramo uno y tramo dos, en cuanto a los datos obtenidos del área (tabla 16) podemos inferir que en los puntos de muestreos uno, dos y tres existe un margen de error en los resultados obtenidos del caudal por las condiciones topográficas del terreno dificultando calcular el área de manera precisa. En relación con la velocidad podemos decir que se maneja un promedio de 0,99 m/s (tabla 16) debido a que el trayecto del río maneja una inclinación estable, en los puntos tres y cuatro hay un aumento en el caudal debido a la desembocadura del canal San Blas; de igual modo podemos evidenciar que el comportamiento del caudal en los puntos nueve y diez aumenta debido a la llegada del canal Albina. Hay un momento lenticó del río en el tramo 7.

#### 4.2 Temperatura



*Ilustración 10: Evolución de la temperatura Río Fucha  
Fuente: Propia*

Para el día del muestreo el comportamiento de la temperatura presento una tendencia lineal debido al factor tiempo, ya que se realizó un muestreo continuo durante el transcurso de un día, dando claridad que el punto uno inicia a las 7:00 a.m. y el punto final culminó a las 3:00 p.m. indicando que la temperatura del recurso hídrico tiene una relación con la temperatura de la atmósfera.

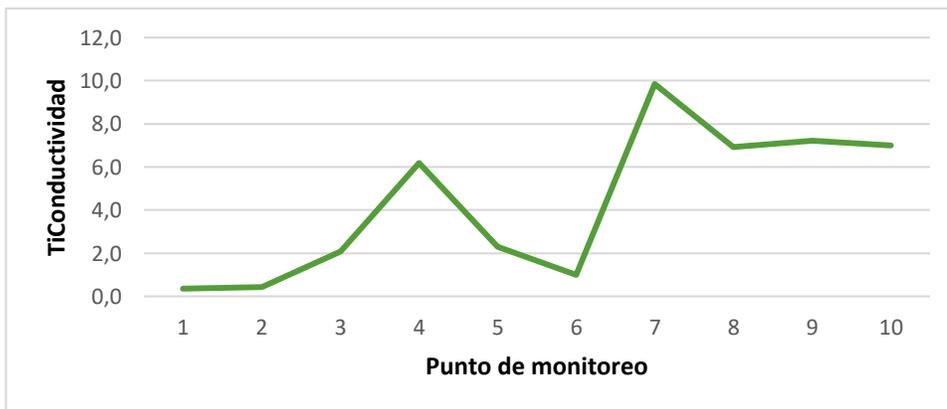
#### 4.3 pH



*Ilustración 11: Evolución del pH  
Fuente: Propia*

En la ilustración 11 se analiza la tendencia del pH buscando el comportamiento de este en los tramos correspondientes, destacando que este parámetro tiene una elevación constante entre los puntos de muestreo uno y tres, resaltando un aumento en el grado de inclinación del punto dos al tres presentando una relación directa a la desembocadura del canal San Blas, es importante resaltar que durante el punto tres hasta el punto siete presenta una disminución leve pero constante, después de este punto se estabiliza los datos del parámetro hasta el punto nueve en donde presenta un cambio en relación a la desembocadura del canal albina. Observando una alteración de las características organolépticas debido a presentar un color más intenso contrastando con la trayectoria del río y olor más repulsivo. En relación al comportamiento en general el pH se mantiene en neutro debido a que se encuentra en el rango 6-8;

#### 4.4 Conductividad



*Ilustración 12: Evolución de la Conductividad*

*Fuente: Propia*

La conductividad es un parámetro que va ligado con los sólidos disueltos en el agua, las aguas que son totalmente puras no poseen estas características, esto quiere decir que en

el transcurso del río en los tramos uno y dos tiene que haber una descarga elevada en iones de sodio y de cloruro la cual hace que aumente la salinidad, estando ligada directamente a la conductividad. El río circula de forma natural entre los puntos uno y dos, pero ya en el punto tres inicia el perímetro urbano a la altura de la localidad de San Cristóbal y en este trayecto se empieza a evidenciar descargas puntuales de aguas residuales domésticas aumentando la conductividad significativamente en relación con la salinidad, posterior al punto tres se mantiene una conductividad lineal con un aumento constante hasta llegar al punto nueve y diez la cual recibe la descarga del canal Albina.

#### 4.5 Oxígeno disuelto



*Ilustración 13: Evolución del Oxígeno Disuelto*  
*Fuente: Propia*

Como se presenta en la ilustración 14, la evolución del oxígeno disuelto en el recurso hídrico analizado muestra un fuerte descenso, situación que es bastante preocupante por la pérdida de vida acuática en el río. Este descenso pudo darse por las modificaciones socioeconómicas que va adquiriendo el río Fucha cuando este ingresa al área urbana, donde se produce modificaciones en su calidad por las descargas contaminadas de aguas residuales y de basuras. Asimismo, otro factor que interviene en su capacidad de auto purificación

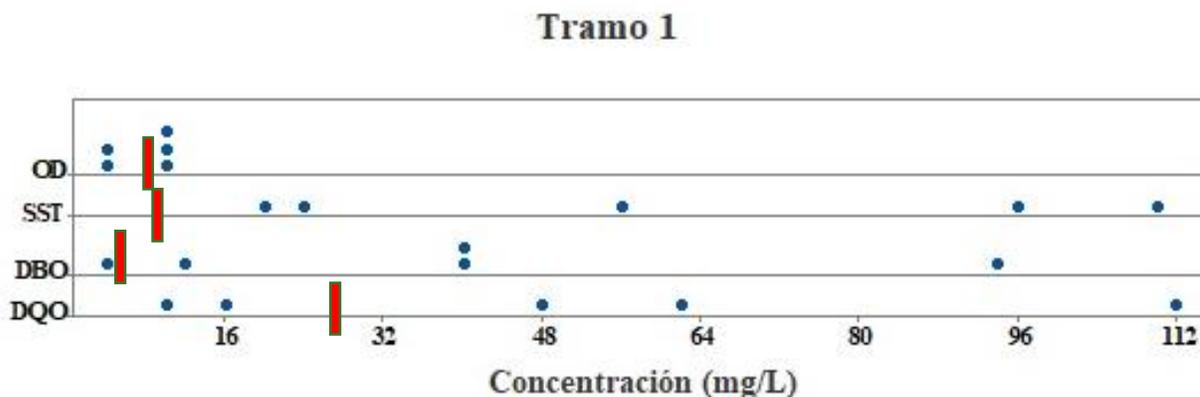
producida por la canalización en su trayecto, lo que indica un cambio en sus características geomorfológicas, situación que no favorece su proceso de aireación.

El oxígeno es el elemento clave de la autodepuración, hasta el punto de que una evaluación cuantitativa puede ayudar a una descripción completa de la evolución de su proceso de recuperación, es considerable mantener una concentración de 4 mg/L en el recurso hídrico para evitar efectos perjudiciales sobre las aguas naturales. Hay que tener presente que cuando una fuente hídrica se encuentra oxigenada se auto depura, un proceso aeróbico se aplica para obtener la energía necesaria para la síntesis de tejido celular nuevo, en ausencia de materia orgánica el tejido celular se respira endógenamente y se convierte en productos gaseosos y en energía (Tratamiento de aguas residuales de Jairo Romero). Es por eso que en la ilustración 14 se puede resaltar que entre los puntos de muestreo tres y cuatro existe un desnivel de unos 5 metros aproximadamente generando una caída de agua la cual ayuda a oxigenar reflejando el cambio en la gráfica.

Puede llegar a existir un error de datos arrojados en los puntos que el método utilizado no se ajustó a las condiciones del tiempo, modo y lugar para el equipo de trabajo obligando a hacer procedimientos adicionales para garantizar la calidad de la muestra en su traslado al laboratorio para su respectivo análisis con el método de Winkler.

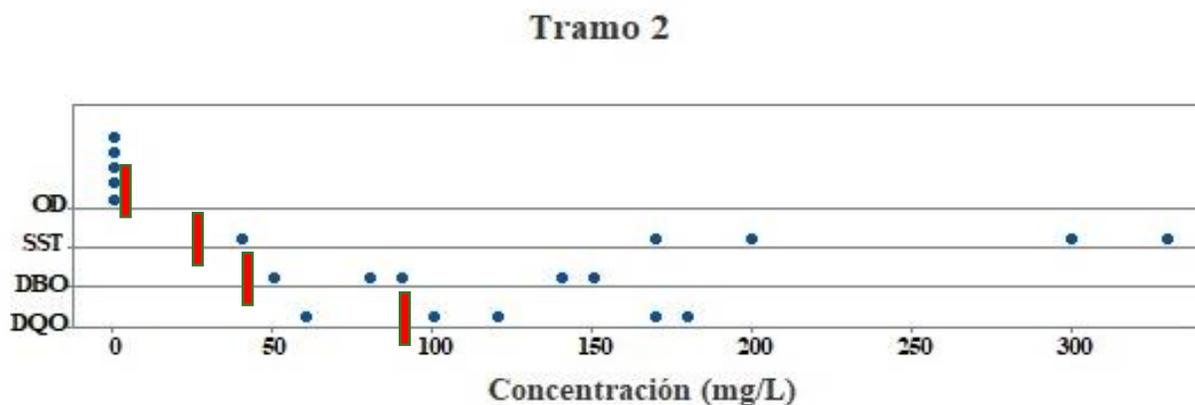
Según los objetivos de calidad nos indica que el tramo uno debe tener un oxígeno disuelto cercano a 8 y revisando los resultados podemos evidenciar que el punto uno dos y cuatro superan el valor establecido mostrando que el río en esos puntos supera las expectativas de calidad pero al observar el punto tres el cual recibe una descarga de la canal San Blas alterando de manera negativa el nivel de oxígeno disuelto a 4,5 afectando su calidad, en el tramo dos el cual presenta seis puntos de muestreo se evidencia un descenso

progresivo en el nivel de oxígeno disuelto iniciando en 3,5 y finalizando en 1,0 no cumpliendo con la norma.



*Ilustración 14: análisis de los objetivos de calidad tramo 1*  
Fuente: Propia

Según lo que indica la ilustración 15 de las veinte muestras desarrolladas solo cinco cumplen con los objetivos de calidad de las cuales dos corresponde a oxígeno disuelto en los punto uno y dos, uno a la demanda biológica de oxígeno, distribuyéndose de la siguiente manera en el punto de muestreo corresponden tres parámetros y en el punto de muestreo dos corresponde dos parámetros, en cuanto a los sólidos suspendidos totales ninguno de los puntos de monitoreo se rigen a los valores determinados por la resolución 5731.

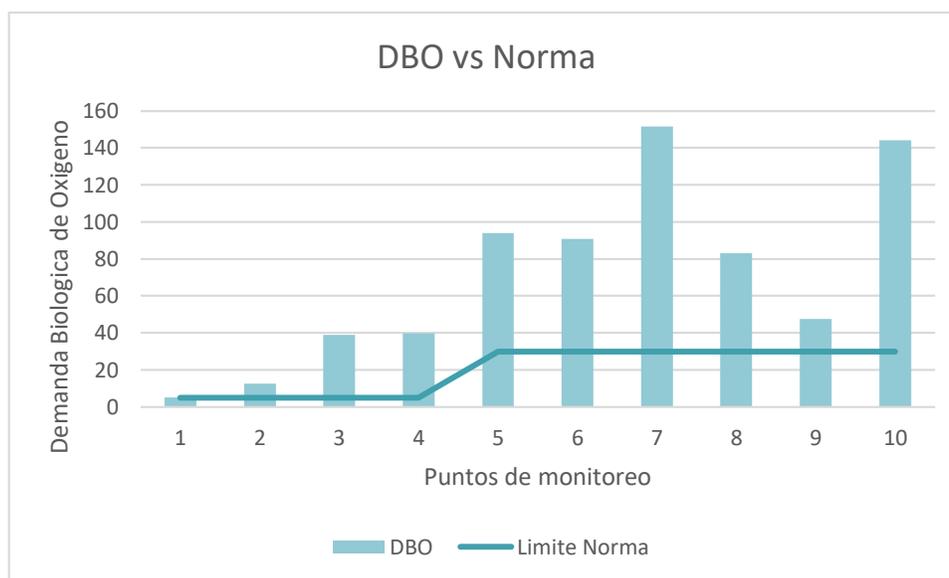


*Ilustración 15: análisis de los objetivos de calidad tramo 2*

*Fuente: Propia*

Según lo que indica la ilustración 16 de las veinte muestras desarrolladas, seis cumplen con los objetivos de calidad de las cuales cinco corresponde a oxígeno disuelto y uno en la demanda química de oxígeno, en cuanto a los sólidos suspendidos totales y la demanda biológica de oxígeno en el tramo dos no cumplen con la resolución 5731 de 2008.

*4.6 Demanda biológica de oxígeno*

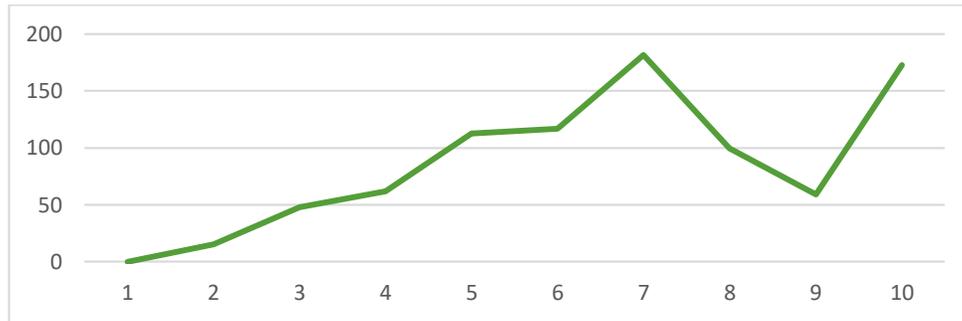


*Ilustración 16: DBO Vs Norma*

*Fuente: Propia*

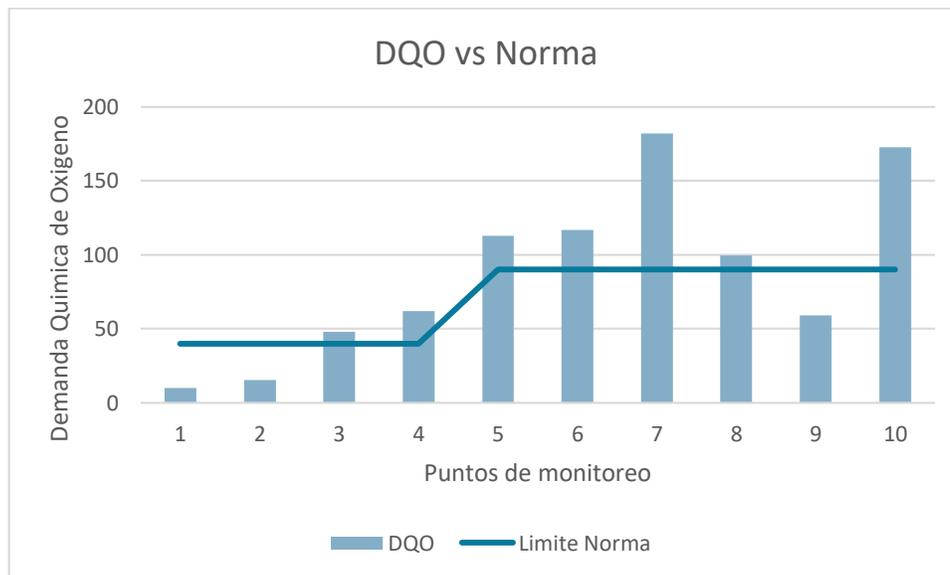
Realizando las comparaciones de los diez puntos de muestreo se determina que ninguno cumple con los parámetros establecidos por los objetivos de calidad ya que el tramo uno determina un nivel máximo de 5 mg/l y en el tramo dos la resolución establece un nivel máximo de 40 mg/l. Dato a analizar es el cambio drástico que se presenta entre los puntos seis y nueve se presenta una alta oferta de oxígeno disminuyendo en consumo de oxígeno.

#### 4.7 Demanda química de oxígeno



*Ilustración 17: Tendencia DBO  
Fuente: Propia*

Este parámetro busca medir la concentración de materia orgánica que es susceptible a la oxidación, en la gráfica se puede deducir que el punto uno y dos presenta unos niveles de carga inorgánica inferiores a los parámetros cumpliendo con los niveles de calidad; pero los puntos tres y cuatro del tramo uno se están superando los estándares de calidad debido a que se presenta mayor carga orgánica oxidable llegando a un punto en donde se consume sí misma, teniendo una baja significativa en el tramo dos hasta el punto en donde se recibe un vertimiento de cantidades elevadas.

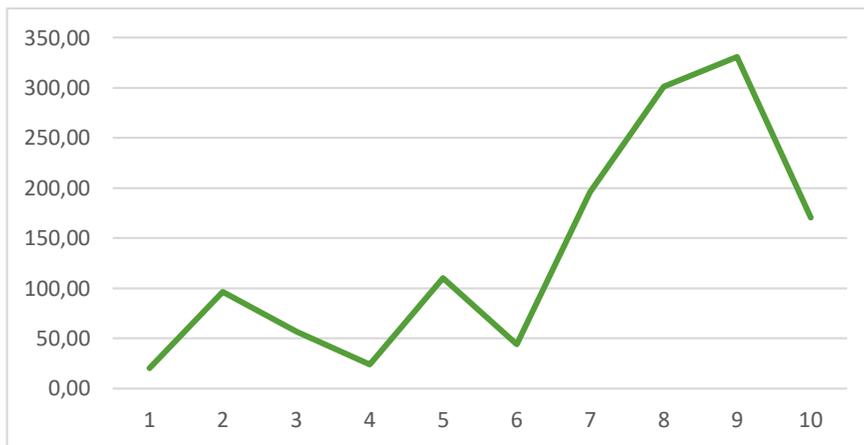


*Ilustración 18: DQO Vs Norma*  
*Fuente: Propia*

En el tramo uno se puede apreciar que los puntos de muestreo uno y dos cumple con los estándares de calidad debido a que estos tramos no tienen intervención antrópica ya que no ha ingresado al casco urbano reflejando un equilibrio entre la materia orgánica a oxidar y las cargas microbiológica, en el tramo dos el único punto de muestreo que cumple con el parámetro de calidad es el punto nueve esto se puede llegar a presentar porque no hay descargas antecesoras altas en materia orgánica susceptible a oxidación..

En la gráfica se puede observar que en los puntos de muestreo siete, ocho y nueve hay una decreciente en la demanda química de oxígeno debido a que en esa zona no se presentan descargas con cargas altas de materia orgánica que influyan en la estabilidad química del río.

#### *4.8 Sólidos suspendidos totales*



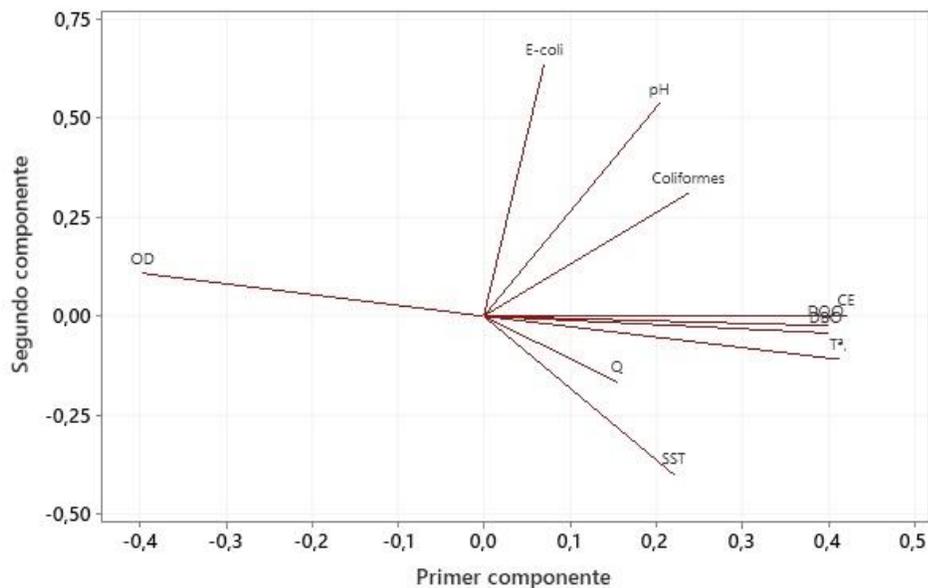
*Ilustración 19: Tendencias SST*  
*Fuente: Propia*

Los sólidos suspendidos totales hacen referencia al material particulado que se mantiene suspendidos sobre los cuerpos de aguas superficiales y según lo descrito en la

gráfica de tendencia en comportamiento general de este parámetro es de forma ascendente desde un inicio por la dinámica del río en relación a su cauce en los puntos uno y dos y características naturales; ya sobre el punto tres se evidencia una baja en el parámetro debido al inicio de la canalización con cobertura de concreto; posterior al punto de muestreo cuatro se inicia un aumento y este tiene que ver con la descarga del canal San Blas alterando el parámetro al aumentarlo; entre el punto cinco y seis nuevamente se presenta una reducción en el parámetro y este es generado porque en este tramo del río la corriente se ralentiza y favorece a la sedimentación.

Como se puede observar en la tabla todos los puntos de muestreos de los dos tramos están por encima de los valores delimitados en la norma puesto que desde que inicia el recorrido del río se quede tener una presencia de remoción de tierra y demás partículas sedimentables por arrastre de las aguas que descienden de las montañas.

*Análisis preliminar de correlaciones entre variables*



*Ilustración 20: Grafico de análisis de relaciones entre los parámetros  
Fuente: Elaboración con Minitab.*

En la ilustración 21 pretende mostrar un análisis general de los nueve parámetros que se realizaron en los dos tramos, buscando una relación para mostrar sus componentes principales y las relaciones que ellos tienen. En la ilustración se demarcaron cuatro cuadrantes para poder determinar patrones de relación entre los parámetros de los cuales se distribuyeron así: cuadrante A corresponde a la parte superior izquierdo, cuadrante B corresponde a la parte superior derecha, cuadrante C corresponde a la parte inferior derecha y el cuadrante D corresponde a la parte inferior izquierda.

En el cuadrante A se encuentra el parámetro de oxígeno disuelto el cual es inversamente proporcional a la temperatura, ya que si hay un aumento de la temperatura el oxígeno disuelto disminuye y esto afecta a la autodepuración del río, debido a que se reduce la presencia de oxígeno en el agua generando una sobrepoblación de las bacterias.

En el cuadrante B encontramos los parámetros de E-coli, pH y coliformes, mostrando una afinidad entre los coliformes y E-coli ya que estos dos parámetros hacen referencia a las bacterias, es de notar que si el pH se encuentra en este cuadrante es porque presenta una relación con estos microorganismos debido a que si este se mantiene en el rango de 4 a 9 unidades de pH generando condiciones favorables para que estos individuos tengan condiciones óptimas.

En el cuadrante C se encuentran los parámetros de caudal y sólidos suspendidos totales, se evidencia un comportamiento irregular debido a que los sólidos suspendidos totales se encuentran alejados de los parámetros de la demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno ya que estos parámetros tienen mucha afinidad puesto que ellos degradan u oxidan los sólidos suspendidos que se encuentren en el río.

## Capítulo 6 Conclusiones

- Se evidencia que la calidad del agua según el ICACOSU es muy mala en cinco puntos de muestreo predominado el tramo 2 con dicha calificación, se destaca la calificación buena en los puntos uno y dos del tramo 1 disminuyendo su calidad del agua teniendo en cuenta que el río ha recorrido 1,3 km desde la salida de la reserva forestal hasta el ingreso del sector urbano a la altura de la carrera doce este.
- En dos recorridos realizados por toda la ribera del río Fucha en los tramos 1 y 2, se evidenciaron veintisiete vertimientos entre puntuales y de escorrentía los cuales fueron identificados fotográficamente y georreferenciados; estos vertimientos presentan características que alteran la calidad del agua y los ecosistemas que interrelaciones con este.
- Los vertimientos identificados sirvieron como criterio principal para determinar los diez puntos de muestreo distribuidos entre los tramos 1 y 2 además se tuvieron en cuenta los siguientes criterios: el ingreso de los afluentes; las características organolépticas que presentaron en color y olor; la influencia de la canalización del río; la facilidad de acceso y el presupuesto que se tiene previsto para la ejecución del proyecto.
- No existen muchos estudios sobre la calidad del agua del río Fucha, por parte de las autoridades competentes y el sector educativo que sirvan como material de consulta para que las personas y entidades tengan la información necesaria y se puedan adelantar acciones de seguimiento para garantizar la protección y conservación de esta fuente hídrica, además de que estos documento sirvan

como puntos de partida para que se adelanten futuras investigaciones y se genere mayor información.

- Será importante que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y entidades competentes generen documentos en donde se relacionen los puntos de vertimientos autorizados y los puntos de vertimientos no autorizados informando a la comunidad en general de las medidas tomadas en relación a las problemáticas identificadas.
- En la tabla 15 denominada análisis de resultados del río Fucha tenemos seis parámetros que coinciden con los objetivos de calidad proyectados por la resolución 5731 de 2008; de esto parámetros cinco no se ajustan superando los niveles permisibles pudiendo intuir que estos objetivos de calidad son muy ambiciosos teniendo en cuenta que el compromiso institucional en relación a temas ambientales es muy deficiente y la cultura ambiental por parte de la comunidad no es acorde a las exigencias establecidas por las objetivos de calidad.
- Los ríos se canalizan con la única función de que transporten el agua que proviene del nacimiento y las aguas lluvias que llegan por escorrentías o por el drenaje pluvial de la ciudad, por ende estos canales deberían de estar en óptimas condiciones y en época del fenómeno del niño solo debería de pasar un mínimo caudal sin presencia de aguas contaminadas con olores y colores nauseabundos para los sentidos organolépticos, además de que no debería de existir algún tipo de residuo sólido ni la invasión de la franja de protección.

- En la normatividad en cuanto al espacio público se debería tener como mínimo un espacio entre la ribera del río y la urbanización u/o construcciones de en un alrededor de 30 metros según los artículos 96 y 98, en la observación de identificación de puntos de vertimientos se observó que esto no se cumple.

## Capítulo 7 Recomendaciones

- Para la toma de la medición del caudal es importante mejorar el método en que se obtiene los valores de medición, ya que se utilizó el método por flotación siendo este uno de los métodos más fáciles, pero no tan exactos, es recomendable realizarlo el método por molinete cuando el río ya está canalizado.
- Para la ejecución de la toma de muestras y datos para el valor de oxígeno disuelto es recomendable no ejecutarlo por conservación de muestra y llevarlo a laboratorio sino realizarlo en campo como un sensor que dicte los parámetros y este se puede realizar un replica para poder sacar una media a esos valores.
- Establecer objetivos de calidad acordes con las realidades de los ríos, no sólo fijarse en estándares internacionales.
- La RCHB se queda corta con los puntos de monitoreo establecido para tomar acciones de control frente a los puntos de vertimiento encontrados y así tomar acciones de mejora frente a la calidad del agua, encontrando posibles responsables que puedan ser judicializados.

## Capítulo 8 Bibliografía

Afanador, J. G. (2007). *pH en agua por electrometría*. Bogotá: IDEAM.

Alcaldía Mayor de Bogotá. (2020). *Bogotá*. Obtenido de Secretaría de Cultura, recreación y deporte:

<https://www.culturarecreacionydeporte.gov.co/es/bogotanitos/bogodatos/rondas-de-rios-y-quebradas-de-bogota>

Artículo 31 Ley 99 (Congreso de Colombia Diciembre de 22 de 1993).

Balisario Luengas, S. (1990). *Instituto colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras*. Bogotá: IDEAM.

Carpio Galvan, T. M. (2007). *Sólidos totales secados a 103 - 105°C*. Bogotá: IDEAM.

Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Díaz, D. (2014). *Indicadores de la calidad del agua: Evolución y tendencias a nivel global*. Bogotá: Ingeniería solidaria.

Colombiamania. (2007). *Colombiamania.com*. Obtenido de Colombiamania.com: [http://www.colombiamania.com/geografia/index\\_geografia/index\\_geografia\\_hidrografia.html](http://www.colombiamania.com/geografia/index_geografia/index_geografia_hidrografia.html)

Convenio 005, 005 (Secretaría Distrital de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2006).

Convenio 041, 041 (Tribunal General de la Nación Octubre de 2002).

Convenio 045, 045 (Secretaría Distrital de Ambiente 2007).

Convenio 17, Convenio 17 (2004).

de, Alcaldía Mayor de Bogotá & Secretaría Distrital de Ambiente & Empresa de Acueducto y Alcantarillado. (2008). *Calidad del Sistema Hídrico de Bogotá*. Bogotá: Pontificia Univesidad Javeriana.

Decreto 1076, 1076 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 26 de Mayo de 2015).

Decreto 1076, 49.523 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 26 de Mayo de 2015).

Decreto 1729 , ley 2811 de 1974 (Comision conjunta de la cuenca del Fucha 2002).

Decreto 3100 Articulo 25, 45.357 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial 31 de Octubre de 2003).

FAO. (1997). *Medicion sobre el terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentia*. Italia: FAO.

Gomez Bastar, S. (2012). *Metodología de la investigació*. Mexico: Red Tercer Milenio S.C.

IDEAM. (2007). *Sotfware ICACOSU*. Bogotá: Ideam Cih up.

IDEAM. (2010). *Guìa para el monitoreo de vertminetos de aguas superficiales y subterranas*. Bogotá: IDEAM.

Larrea Murrell, J. A., Rojas Badìa, M., Romeu Alvarez, B., Rojas Hernández, N. M., & Heydrich Perez, M. (2012). *Bacterias indicaoras de contaminaciòn fecal e la evaluacion de la calidad de las aguas*. La Habana: Revista CENIC Ciencias Biològicas.

Ley 99, 99 (Congreso de la República de Colombia 22 de Diciembre de 1993).

Loaiza, N. (19 de Noviembre de 2015). *Hidrografia de Colombia*. Obtenido de Hidrografia de Colombia: <https://didactalia.net/comunidad/materialeducativo/recurso/hidrografia-colombiana/249d477b-c114-487d-8600-10f720dbf913>

Madigan, & col. (1997). *Indicadores de contaminacion fecal en aguas*. cyted.

Metcalf, & Eddy. (2003). *Waste Water Treatment Plants*. Mc Graw Hill.

MINAMBIENTE . (2010). *Decreto 3930 de 2010*. Bogotá DC.

MINAMBIENTE; IDEAM. (2007). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento del Agua*. Bogotá D.C: IDEAM.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (09 de Marzo de 2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá: Nuevas Ediciones LTDA. Obtenido de Colombia: uno de los países con más agua en el mundo: <https://noticias.universia.net.co/actualidad/noticia/2015/03/09/1121023/colombia-paises-agua-mundo.html>

Navarro Roa, M. O. (2007). *Determinación de Coliformes Totales y E. Coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido, coliert por el metodo de Numero Más Probable*. Bogotá: Ideam.

Nihon Kasetsu. (2020). Obtenido de DBO y DBO para caracterizar aguas residuales: <https://nihonkasetu.com/es/dbo-y-dqo-para-caracterizar-aguas-residuales/>

PAOCOLACAO. (7 de Junio de 2016). *AlojaSchool*. Obtenido de <https://alojaschool.wordpress.com/author/paocolacao/>

Parra , Y. (27 de Enero de 2020). Obtenido de aguas del Socorro S.A.-E.S.P.: <http://www.aguasdelsocorro-santander.gov.co/preguntas-y-respuestas/por-que-aveces-el-agua-tiene-color-amarillo-rojizo>

Pérez, D. F., & Zamora, D. A. (2015). *Descripción y contexto de las cuencas hídricas*. . Bogotá.: Secretaría Distrital de Ambiente.

Plan de Manejo y Ordenamiento del río Fucha, 0957 (Corporación Autónoma Regional 2019).

Planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas, 1640 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 02 de Febrero de 2012).

- Quiroga Martínez, R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para America Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Ramírez, Restrepo, & Cardeñoso. (1998). *Índices de contaminación para caracterización de aguas continentales y vertimientos*. Bogotá: Ciencia, Tecnología y Futuro.
- Resolución 1813, 3594 (Departamento Administrativo de Medio Ambiente 16 de Agosto de 2006).
- Resolución 5731, 5731 (Secretaría Distrital de Ambiente 30 de Diciembre de 2008).
- Resolución N°5731, 5731 (Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. 30 de Diciembre de 2008).
- Rodríguez, M. S. (2010). *Calidad del Recurso Hídrico de Bogotá*. Bogotá: Kimpres Ltda.
- Romero Rojas, J. A. (2005). *Calidad del agua 2ª Edición*. Bogotá D.C: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sánchez, D. (2015). *Calidad de las aguas*. Obtenido de Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real: [http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11\\_Calidad-agua-y-control\\_v2015\\_resumen.pdf](http://blog.uclm.es/davidsanchezramos/files/2016/05/11_Calidad-agua-y-control_v2015_resumen.pdf)
- Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2001). Química para Ingeniería Ambiental. En C. Sawyer, P. McCarty, & G. Parkin, *Química para Ingeniería Ambiental* (págs. 569-589). Bogotá: Contextos Gráficos.
- Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2001). Química para Ingeniería Ambiental. En C. Sawyer, P. McCarty, & G. Parkin, *Sawyer, Clair; McCarty, Perry; Parkin, Gene*; (págs. 589-596). Bogotá: Contextos Gráficos.

- Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2001). Química para Ingeniería Ambiental. En C. Sawyer, P. McCarty, & G. Parkin, *Química para Ingeniería Ambiental* (págs. 556-569). Bogotá: Contextos Gráficos.
- Sawyer, C., McCarty, P., & Parkin, G. (2001). Química para Ingeniería Ambiental. En C. Sawyer, P. McCarty, & G. Parkin, *Química para Ingeniería Ambiental* (págs. 494-500). Bogotá: Contextos Gráficos.
- Secretaría Distrital de Ambiente y Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2008). *Calidad del sistema hídrico de Bogotá*. Bogotá: Pontificia Universidad.
- (14 de Febrero de 2015). Obtenido de Descripción de indicadores: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-Oxigeno%20disuelto%20f.pdf>
- Suarez, D. (2006). *Conductividad eléctrica por el método electrométrico en aguas*. Bogotá: IDEAM.
- UNESCO. (2006). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo*. Zaragoza: UNESCO-WWAP.
- Valdes Basto, J., Samboni Ruiz, N., & Carlvajal Escobar, Y. (2011). *Desarrollode un indicador de la calidad del agua usando Estaística Aplicada, caso de Estudio: Subcuenca Zajón Oscuro*.