

Diseño de estrategias para la gestión de impactos sobre la calidad del agua en el río Subia del municipio de Silvania (tramo Vereda Subia Delicias- Azafranal) Cundinamarca.

Valentina Estrada Díaz y Jhonatan Alejandro Mengual Narváez

Trabajo de grado dirigido por:

Ingeniero Diego Fernando Bedoya Ríos Magister en Ingeniería Ambiental candidato a doctorado en ingeniería, director

Ingeniero Daniel Armando Robledo Buitrago candidato a Magister en desarrollo sostenible y medio ambiente, codirector

En el marco del proyecto: Herramienta geoespacial para la construcción del diagnóstico socioambiental del Plan de Desarrollo Territorial del municipio de Silvania –Cundinamarca.

Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería ambiental

Facatativá

2021

Agradecimientos

Esta investigación fue apoyada por la financiación de la Universidad de Cundinamarca, la Gobernación de Cundinamarca y el programa BIO de MinCiencias Colombia, Proyecto "Herramienta geoespacial para la construcción del diagnóstico socioambiental del Plan de Desarrollo Territorial del municipio de Silvania -Cundinamarca" con código 63546. Esta financiación fue proporcionada por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación del Sistema General de Regalías, administrado por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación "Francisco José de Caldas". Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación.

TABLA DE CONTENIDO

1. Resumen	9
2. Introducción	10
3. Planteamiento del Problema	12
4. Justificación	14
5. Objetivos.....	16
5.1. Objetivo General.....	16
5.2. Objetivos Específicos.....	16
6. Marco Referencial.....	17
6.1. Marco Teórico.....	17
6.1.1. <i>Cálculo del Índice ICA_NSF</i>	17
6.1.2. <i>Cálculo del ISQA</i>	20
6.1.3. <i>Matriz de Leopold para la evaluación de impacto ambiental</i>	20
6.1.4. <i>Muestra Compuesta</i>	21
6.2. Marco Conceptual.....	21
6.2.1. <i>Calidad de Agua</i>	21
6.2.2. <i>Parámetros físicos del área de estudio:</i>	21

6.2.3.	<i>Parámetros químicos del área de estudio</i>	23
6.2.4.	Parámetros biológicos del área de estudio	24
6.2.5.	<i>Cadena de Custodia</i>	25
6.2.6.	<i>Contaminación del agua</i>	26
6.2.7.	<i>Tipos de contaminación</i>	26
6.2.8.	<i>Fuentes de contaminación de agua</i>	27
6.3.	Marco Legal:	28
7.	Metodología	30
7.1.	Ubicación geográfica del área de estudio	30
7.2.	Diseño metodológico	31
7.3.	Fases Metodológicas	33
7.3.1.	<i>Objetivo 1: Caracterizar la calidad del agua del río Subía bajos los parámetros incluidos en el ICA NSF y ISQA</i>	33
7.3.2.	<i>Objetivo 2: Identificación de los efectos e impactos de tipo antropogénico sobre el recurso hídrico en el área objeto de estudio</i>	40
7.3.3.	<i>Objetivo 3: Diseñar estrategias para la gestión de los impactos ambientales que afecten la calidad del agua.</i>	41
8.	Resultados y Análisis	44

8.1. Resultados parámetros analizados en el río Subia.	44
8.2. Resultados ICA-NSF.....	60
8.3. Resultados ISQA.	63
8.4. Interpretación índice de calidad	66
8.5. Identificación y caracterización de los efectos e impactos de tipo antropogénico mediante la matriz de Leopold.....	68
8.6. Diseño de estrategias de manejo ambientales.....	73
9. Conclusiones	84
9. Recomendaciones	87
10. Referencias.....	88
11. Anexos.....	96

Lista de Figuras

Figura 1 Ubicación espacial del municipio de Silvania y el Río Subia	31
Figura 2 Esquema metodológico.....	33
Figura 3. Ubicación espacial de los puntos de muestreo designados.....	34
Figura 4. Caudal medio mensual, Estación Silvania (21197110).....	35
Figura 6 Comparación entre la clasificación ICA-NSF y ISQA (siendo 5 la mejor)	40
Figura 7 Concentración Coliformes termotolerantes.....	47
Figura 8 Concentración demanda química de oxígeno.	48
Figura 8 Concentración demanda bioquímica de oxígeno.....	49
Figura 10 Concentración de pH.	50
Figura 11 Sólido suspendidos totales.....	51
Figura 12 Concentración Sólidos disueltos totales	52
Figura 13 Temperatura	53
Figura 14 Concentración de turbiedad	54
Figura 15 Concentración de nitratos	55
Figura 16 Concentración fósforo reactivo total.	56
Figura 17 Concentración oxígeno disuelto.	57

Figura 18 Concentración conductividad.	58
Figura 19 Caudal promedio por estaciones.....	59
Figura 20 Resultados ICA-NSF por estaciones.	60
Figura 21 Resultados ISQA por estaciones.....	65
Figura 22 Matriz de Impacto Ambiental de la metodología de Leopold	70

Lista de Tablas

Tabla 1 Peso Asignado por la NSF	18
Tabla 2 Clasificación de la Calidad del agua según el índice ICA_NSF	18
Tabla 3 Clasificación ISQA.....	20
<i>Tabla 4 Normativa legal vigente para Calidad de Agua.....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 5 Estaciones de monitoreo.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6 Resumen de Muestras</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7 Cuantificación de los Parámetros.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 8 Variables y fórmulas de la ISQA.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9 Ficha de Manejo Ambiental.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 10 Resultados estación 1, Vereda Subia Delicias.</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 11 Resultados estación 2, Vereda El Vergel.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 12 Resultados estación 3, Vereda Azafranal.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 13 Resultados de los subíndices por parámetro del ICA-NSF.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 14 Resultados de los subíndices por parámetro del ISQA.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 15 Interpretación Índices de Calidad de Agua.....</i>	<i>66</i>

1. Resumen

El presente estudio tiene como finalidad el diseño de estrategias para la gestión de impactos sobre la calidad del agua del río Subia, en el tramo Vereda Subia Delicias y Azafranal, para ello se establecieron 3 estaciones de muestreo a lo largo del recorrido en 2 épocas del año con diferentes precipitaciones. En las estaciones designadas se realizó la caracterización de la calidad del agua mediante la metodología de los índices ICA-NSF e ISQA, donde se obtuvo como resultado *mediana calidad* para la metodología del ICA NSF y *agua de consumo humano con tratamientos convencionales* para la metodología ISQA en ambos muestreos, posteriormente se realizó el análisis de los impactos ambientales a través de la matriz Leopold para realizar una descripción del área objeto de estudio, de esta manera se encontró que los factores más afectados son el hábitat y la calidad del agua, producto de los vertimientos de aguas residuales domésticas, la agricultura y ganadería como principal fuente de contaminación; con los resultados anteriormente mencionados se diseñaron estrategias de manejo ambiental, para llevar a cabo una adecuada gestión del recurso hídrico, enfocado hacia su uso y conservación, buscando el mejoramiento de la calidad del agua del río Subia, para que así pueda ser utilizada por los pobladores adecuadamente en sus actividades económicas y domésticas.

Palabras Clave: *ICA-NFS, ICA-ISQA, Calidad del agua, impactos ambientales, matriz de Leopold*

2. Introducción

Los recursos hídricos superficiales son una fuente importante para el suministro, debido a que brinda posibilidades de abastecimiento a la población para sus actividades domésticas y económicas, sin embargo, la práctica de procesos productivos como agricultura y ganadería, sumado a las descargas puntuales domésticas e industriales, son causales de los críticos problemas de contaminación que aqueja al recurso hídrico. Así mismo, los grandes avances en la industria científica y tecnológica han generado el surgimiento de un sinnúmero de compuestos químicos y biológicos, entre los compuestos más comunes producto de la intervención antrópica en cuerpos de agua se pueden encontrar, coliformes fecales, fosfatos, cloruros y nitratos, en conjunto de altas concentraciones de DBO5 y DQO (Candela, 2007), la mayoría de estos compuestos repercuten de manera significativa en la salud humana, vegetal y animal (Bester, 2007). Por tal motivo el agua destinada al consumo humano debe cumplir con una calidad sanitaria apta después de su proceso de tratamiento y cumplir con los requisitos específicos para los parámetros físicos, químicos y microbiológicos (WHO, 2011).

En la actualidad la contaminación hídrica es una de las mayores problemáticas ambientales en Colombia, esto se debe principalmente a la fuerte presión que ejerce la agricultura como motor económico en las diferentes regiones del país, por el aporte de carga contaminante tras el uso de diferentes plaguicidas, pesticidas y herbicidas, esto ha causado un gran deterioro al suelo, fuentes de aguas superficiales y subterráneas. Dicha situación es preocupante ya que el uso de fuentes contaminadas para satisfacer las necesidades básicas de los seres humanos, conllevan afectaciones a la salud humana, lo que puede generar problemas de salud pública, por ello es necesario implementar estrategias de mitigación, evaluación y control que permitan reducir la carga contaminante contenida en los vertimientos de los diferentes procesos productivos, para este caso las actividades agropecuarias a nivel nacional. (Pérez, Peña, &

Álvarez, 2011). De igual forma se evidencia falta de tratamientos de las aguas residuales domésticas en la zona rural, donde se realizan vertimientos directos en el cuerpo de agua receptor, esto trae consigo un aumento en la concentración de contaminantes y una disminución de la calidad del agua.

Con la problemática en Colombia identificada, se quiere realizar el diseño de estrategias ambientales para la gestión de impactos sobre la calidad del agua en el río Subia del municipio de Silvania, en el tramo de la Vereda Subia Delicias - Azafranal, debido a la presencia de zonas de interés agropecuario y asentamientos urbanos que representan importancia económica en el municipio. Por medio de la caracterización de la calidad del agua y la evaluación de los impactos, se busca la adecuada formulación de estrategias que den respuesta a la problemática asociada. Dada la importancia del área objeto de estudio el presente trabajo se articula a Colciencias mediante el proyecto con código 63546, herramienta geoespacial para la construcción del diagnóstico socioambiental del Plan de Desarrollo Territorial del municipio de Silvania Cundinamarca.

3. Planteamiento del Problema

En Cundinamarca, la región del Sumapaz ha sido históricamente una de las más golpeadas por el conflicto armado. Tres municipios ubicados en la región, Cabrera, Viotá y Silvania, fueron designados como ZOMAC y desde el año 2018 han iniciado un proceso institucional para componer una perspectiva de construcción de paz en la planeación municipal. A pesar de su compromiso, la Gobernación de Cundinamarca ha encontrado que la capacidad técnica para la construcción de sus PDT es baja, no solo por los recursos técnicos y humanos, sino porque la información que se encuentra fragmentada y desarticulada (Sabogal, 2016).

El agua potable es una necesidad de todos y debido a que la infraestructura y recursos económicos de los acueductos en las zonas rurales suelen ser limitados, no se garantizan las condiciones de calidad en el agua para los habitantes del sector rural, acarreando problemas de salud pública, ya que algunos realizan un aprovechamiento directo sin ningún tratamiento, esta problemática se vio incrementada por la influencia del conflicto armado, negando la viabilidad de un saneamiento básico y alcantarillado en estos ZOMAC.

En Silvania, se evidencia que la mayor parte de la población obtiene sus ingresos de la agricultura y la ganadería, sin embargo, estos se han realizado con poca supervisión por parte de las autoridades ambientales, con la implementación de técnicas rudimentarias y artesanales, que no toman en cuenta la afectación al componente ambiental durante su desarrollo, la mayoría de estas actividades se realizan en la proximidad del río Subia y sus afluentes, ya que allí se encuentra la mayor oferta del recurso hídrico.

El municipio de Silvania tiene sus principales actividades económicas y asentamientos en la zona rural, varios de ellos ubicados en la Vereda Subia Delicias, Vereda El Vergel y Vereda Azafranal, sin embargo no se evidencia información fidedigna acerca de la presión antrópica

ejercida en el río Subia a lo largo del tramo, ni tampoco sobre como varia la calidad del agua producto de esta intervención que se realiza sobre el efluente, cabe resaltar que la mayoría de estas actividades económicas y asentamientos no cuentan con un proceso de pre-tratamiento o estrategias para la gestión de impactos, al realizar sus descargas sobre el cuerpo de agua receptor, aportando mayor carga contaminante y esto repercute en la calidad del agua lo largo del río.

Al conocerse la importancia económica para Silvania del sector rural, surge la necesidad conocer ¿Cuál es el mejor diseño estrategias de manejo ambiental para la gestión de impactos que afectan la calidad del agua en el río Subia, en el tramo Vereda Subia Delicias- Azafranal?

4. Justificación

La identificación y evaluación del estado de las aguas superficiales contribuye con la mitigación de distintos problemas que impactan al municipio de Sylvania. A través de diferentes metodologías se busca llegar al punto de partida de dichas problemáticas, identificando las fuentes que están contaminando el río Subia, y realizando de manera paralela una evaluación del recurso hídrico que está perjudicando sanitariamente a los habitantes que hacen uso de este para cubrir sus necesidades básicas.

Colombia en su Plan Nacional de Desarrollo (PND) enfoca sus esfuerzos en el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la ONU, el principal objetivo que abarcaría sería el sexto “*Agua limpia y saneamiento*” y de manera indirecta los objetivos, tercero “*Salud y bienestar*”, Decimo primero “*Ciudades y comunidades sostenibles*” y por último el décimo quinto “*Vida de ecosistemas terrestres*”; en su pacto por la sostenibilidad se busca un equilibrio con el desarrollo productivo y la conservación del ambiente, que en conjunto de un conocimiento científico y desarrollo de tecnologías e innovaciones, se pueda transformar la sociedad colombiana y su sector productivo (Departamento Nacional de Planeación,, 2018) por esta razón el presente proyecto, busca mediante la investigación generar un insumo que facilite la toma de decisiones, que propendan con el cumplimiento de las metas y objetivos del PND aplicados en el municipio de Sylvania, Cundinamarca.

Los cuerpos de agua superficial a nivel mundial enfrentan amenazas graves, todas ellas originadas principalmente por actividades humanas tales como la agricultura, la ganadería, actividades industriales, mineras y de explotación de recursos que se llevan a cabo para satisfacer las necesidades básicas de la sociedad, esto se ve reforzado por el crecimiento demográfico, el cambio climático, y el consumismo. Las actividades antrópicas aportan

elementos negativos, como lo son contaminantes, orgánicos e inorgánicos que progresivamente están acabando con el recurso hídrico (GreenFacts, 2009).

Actualmente se evidencian impactos de tipo antropogénico en el río Subia en el tramo comprendido entre la Vereda Subia Delicias y Azafranal, por tal motivo es necesario caracterizar las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del efluente, mediante la aplicación de índices que cualifiquen la calidad del agua, en conjunto con la identificación de impactos que afectan la calidad del agua, para de esta manera generar el apropiado diseño de estrategias que permitan mejorar la condición actual del río Subia. La consolidación de la información obtenida mediante este trabajo brinda a las autoridades locales herramientas para dictaminar las medidas adecuadas para el manejo del efluente y así contribuir a la construcción del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH), de igual forma, cabe resaltar que es un estudio de tipo exploratorio, el cual tiene en cuenta las principales zonas de interés por parte de las autoridades locales, lo que lo convierte en un punto de partida que permite la apertura de futuros proyectos e investigaciones sobre el área objeto de estudio.

5. Objetivos

5.1. Objetivo General

Diseñar estrategias para la gestión de impactos sobre la calidad del agua en el río Subía del municipio de Silvania Cundinamarca.

5.2. Objetivos Específicos

1. Caracterizar la calidad del agua del río Subía bajos los parámetros incluidos en el ICA-NSF y ICA-ISQA
2. Identificar los efectos e impactos de tipo antropogénico sobre el recurso hídrico en el área objeto de estudio
3. Diseñar estrategias para la gestión de los impactos ambientales que afecten la calidad del agua.

6. Marco Referencial

6.1. Marco Teórico

Para la caracterización de la calidad del agua existen varios índices que permiten realizar la cualificación con diferentes parámetros, sin embargo, los índices seleccionados para este trabajo dan respuesta las necesidades expuestas desde diferentes puntos de vista. En primer lugar se hace uso del ICA NSF ya que es uno de los índices más completos al dimensionarse en características físicas, químicas y microbiológicas, este índice es de los más utilizados a nivel global por su simplicidad y reproducción, que permite dar continuidad y seguimiento al trabajo realizado; otro punto a tener en cuenta sobre este índice refiere a que las ponderaciones de sus parámetros son objeto de resultados empíricos, donde ya se han realizado diferentes variaciones a diferentes contextos que le atribuyen veracidad en el momento de aplicación. A pesar de que el ICA-NSF es un índice completo se tomó en cuenta los criterios del ISQA, puesto que la interpretación de este índice se asocia a usos potenciales del recurso hídrico, de tal manera que resulta interesante no solo cualificar la calidad del agua, sino también plantear unos posibles usos empleando un índice simplificado como lo es el ISQA.

6.1.1. *Cálculo del Índice ICA_NSF*

El cálculo del índice de calidad del agua utilizado (ICA_NSF) fue desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos, se evaluó diferentes parámetros de los cuales identificaron los 9 más representativos e identificaron un peso ponderado mediante un panel de expertos Tabla 1, llamado método de Delphi. Posteriormente a cada parámetro se le asignó un valor Q, establecido en unas gráficas de la documentación del IDEAM (Centro de Investigaciones en Hidroinformática, 2007) el cual depende del valor obtenido en campo. Con el valor obtenido en el ICA-NSF se clasifica según corresponda en la Tabla 2

Tabla 1 Peso Asignado por la NSF

PARAMETRO	PESO RELATIVO (W)
Oxígeno Disuelto(mg/L)	0,17
Coliformes Fecales (UFC/100 mL)	0,16
pH(unidades)	0,11
DBO5 (mg/L)	0,11
Nitratos (mg/L)	0,10
Fosfatos (mg/L)	0,10
Temperatura(°C)	0,10
Turbiedad (UNT)	0,08
Sólidos Disueltos Totales(mg/L)	0,07

Fuente: Elaboración propia, empleando información de (Centro de Investigaciones en Hidroinformática, 2007)

Tabla 2 Clasificación de la Calidad del agua según el índice ICA_NSF

RANGO	CLASIFICACIÓN	ESCALA DE COLOR
91-100	Excelente	AZUL
71-90	Buena	VERDE
51-70	Regular	AMARILLO
26-50	Mala	NARANJA
0-25	Muy mala	ROJO

Fuente: Elaboración propia, empleando información de (Centro de Investigaciones en Hidroinformática, 2007)

Sin embargo, el oxígeno disuelto se evidencia en las tablas mencionadas anteriormente en porcentaje de saturación. Para el cálculo del % de saturación debemos tener en cuenta en primer lugar la temperatura y la siguiente expresión:

$$ODS = 14,652 - 0,41022t + 0,007991t^2 - 0,000077774t^3$$

Donde:

ODS= Concentración de oxígeno disuelto (mg/L)

t= Temperatura tomada en campo (°C)

→Posteriormente calculamos la presión atmosférica:

$$P = 760e^{\left(\frac{-E}{8005}\right)}$$

Donde:

P= Presión atmosférica a la elevación (mm Hg)

E=Elevación (m.s.n.m) la elevación promedio de Sylvania que es 1470 m.s.n.m

→Calculamos la concentración de saturación de oxígeno disuelto corregido ODS_c .

$$ODS_c = ODS\left(\frac{P}{760}\right)$$

→Finalmente, el porcentaje de saturación

$$\% \text{ saturacion} = \frac{\text{Oxigeno Disuelto en la fuente}}{\text{concentración de saturación de oxígeno disuelto corregido}} * 100$$

6.1.2. Cálculo del ISQA

El Índice Simplificado de Calidad del Agua o por sus siglas en inglés ISQA surge en España en 1982 para las cuencas de Cataluña, este índice se basa en 5 parámetros físicoquímicos de fácil obtención que permitan identificar la calidad del agua con una clasificación de 6 usos específicos (tabla 3), los parámetros para tener en cuenta son:

- Temp: Temperatura
- DQO: Demanda Química de Oxígeno
- OD: Oxígeno Disuelto
- Cond: Conductividad
- SST: Sólidos suspendidos totales

Con los valores obtenidos en el índice, se evalúa bajo la siguiente clasificación:

Tabla 3 Clasificación ISQA

Valor ISQA	Clasificación de calidad
85-100	Todos los usos
60-85	Consumo humano con tratamientos convencionales, recreación por contacto directo, piscicultura
45-60	Consumo humano con tratamiento especial, Riego, Industrial
30-45	Recreación por contacto indirecto(navegación) y refrigeración industrial
0-30	No puede usarse

Fuente: Elaboración propia, empleando información de (Torres, Cruz, & Patiño, 2009)

6.1.3. Matriz de Leopold para la evaluación de impacto ambiental

La matriz de Leopold fue desarrollada en 1971, en respuesta a la Ley de Política Ambiental de los EE.UU. de 1969, esta matriz constituye un sistema para el análisis de

impactos de diferentes factores en correlación de diferentes actividades. Los resultados de esta metodología son cuantitativos y cualitativos, sin embargo, están sometidos a la subjetividad del investigador. La relación entre factores y actividades se evalúan en magnitud e importancia, además la mejor manera de generar un criterio sobre el área evaluada es clasificando solo las actividades significativas (Ramos Soberanis, 2004).

6.1.4. Muestra Compuesta

Consiste en una metodología para minimizar la variabilidad que puede haber en una muestra individual, esto se realiza mediante la combinación de varias muestras individuales tomadas en lapsos de tiempo proporcionales. Estas muestras son generalmente recogidas en el mismo sitio, nos arrojan resultados de las condiciones medias del agua mediante la homogenización de la muestra (IDEAM, 2007).

6.2. Marco Conceptual

6.2.1. Calidad de Agua

La calidad del agua se determina al evaluar los parámetros de las características físicas y químicas de una muestra de agua, evaluados en unos estándares o metodologías establecidas, con el objetivo de simplificar la interpretación de los datos de monitoreo; la variabilidad calidad del agua depende tanto de factores naturales, como de la intervención antrópica y se determina evaluando unos parámetros establecidos según cada metodología aplicada. (Torres, Cruz, & Patiño, 2009).

6.2.2. Parámetros físicos del área de estudio:

- Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales son una medida de la cantidad de material disuelto en el agua. El material que aportan los SDT están compuestos por diferentes iones, de los cuales algunos son necesarios para el desarrollo de la fauna y flora acuática, los cambios en la concentración de estos sólidos disueltos totales afectan el desarrollo de la vida acuática. (Vargas Meneses, 2010)

- Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales se refieren al material particulado que se mantiene en suspensión en el agua, estos sólidos suspendidos totales se evalúan como para de calidad del agua, en general estos afectan la turbiedad del agua y en la naturaleza su origen depende del comportamiento de la fuente de agua evaluada, sin embargo mediante la intervención humana se evidencian incrementos provenientes de los vertimientos realizados (Jaya Cabrera, 2017)

- Temperatura.

La temperatura es la unidad de medida de la intensidad de calor que se retiene o se genera, en los cuerpos de agua hace referencia a la cantidad de energía calórica que es retenida por el cuerpo de agua, las variaciones de la temperatura en un cuerpo de agua dependen de la temperatura ambiental, la pérdida de energía por el viento, cantidad de material en suspensión o coloidal que retiene energía, fauna y flora, temperatura del vertimiento, entre otros (Esteves, 1998).

- Potencial de hidrógeno (pH)

La concentración de pH es una de las pruebas más importante para evaluar cuerpos de agua debido a su influencia sobre el desarrollo de la vida acuática, reacciones químicas, procesos de tratamiento, entre otros. Mediante el pH se evalúa la alcalinidad o acidez de un cuerpo de agua (Cevallos, 2002).

- Turbiedad

La turbiedad hace referencia a la propiedad óptica del agua que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de ella. (IDEAM, 2007) La turbiedad es causada por partículas en suspensión y coloidal, materia orgánica e inorgánica, fitoplancton y otros microorganismos, por lo tanto mayor sea su cantidad mayor va a ser su turbidez.

- Conductividad Eléctrica

La conductividad es de la propiedad que poseen los líquidos para conducir la corriente eléctrica. Esta conducción de energía depende de diferentes factores, principalmente por la presencia de iones, Sin embargo en cuerpos de agua dulce superficial sin intervención es poco común evidenciarse altos niveles de conductividad, por tal motivo este se convierte en un parámetro para la evaluación de la calidad de agua, la conductividad eléctrica se evalúa en milsiemens por centímetro (mS/cm) en el Sistema Internacional de Unidades (IDEAM, 2006).

6.2.3. Parámetros químicos del área de estudio

- Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto refiere a la cantidad de oxígeno disponible y que esta disuelto en el agua. El oxígeno disuelto es vital para el desarrollo de la vida acuática, por tal motivo se utiliza como indicador de calidad de agua en diferentes metodologías. La concentración de oxígeno se puede deber a diferentes factos, pero el principal es la absorción por difusión del oxígeno presente en la atmosfera. El oxígeno se disuelve con facilidad en el agua hasta que se satura, en algunos análisis se valúa esta saturación de oxígeno en el agua. (Jimenez N. T., 2015).

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas donde influye la temperatura, el agente oxidante y el tiempo. Este parámetro es un importante indicador de calidad de agua, ya sean aguas continentales, residuales o pluviales (Rosabal, Chang, Perez, & Morales, 2012).

- Nitratos

Los nitratos son compuestos químicos inorgánicos solubles, estructurados por moléculas de nitrógeno y oxígeno. El ion nitrato es esencial para la generación de bio-masa de las plantas, por esta razón su principal uso es en la fertilización.

“Si bien es cierto, estos compuestos forman parte del ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas incrementan sus niveles principalmente en el suelo, y es debido a su solubilidad en agua, por lo que llega a alcanzar concentraciones importantes en ríos o lechos profundos.”

(Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya, 2017)

6.2.4. Parámetros biológicos del área de estudio

- Coliformes fecales

Los coliformes fecales se han seleccionado como indicadores de calidad de agua debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide, el cual es un grupo de bacterias que generan graves afecciones al ser humano. Los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*, las cuales se encuentran en el tracto digestivo humano y de animales. Ya no es común este tipo de coliformes en el medio ambiente, se establece que su presencia indica contaminación fecal reciente. (IDEAM, 2007).

- Demanda bioquímica de oxígeno (dbo5)

La DBO₅ indica la calidad del agua ya que refiere a la materia orgánica presente en cuerpos de agua mediante la medición del oxígeno disuelto necesario para que este se consuma, en este orden de ideas se establece una relación proporcional entre mayor sea la DBO₅ mayor es la carga orgánica asociada a vertimientos de aguas residuales (IDEAM, 2013). También para aguas superficiales, es un indicador asociado al contenido de microorganismos aerobios, en ambientes naturales no impactados sus valores son relativamente bajos (< 3 mg O₂/L) (Environmental Protection Agency, 2014).

- Fósforo reactivo total (Ortofosfatos)

El ion fosfato (PO₄) naturalmente se forma a partir del fósforo inorgánico que existe como mineral, sin embargo, en cuerpos de agua se puede encontrar por el vertimiento de agua contaminada con detergentes. El ion fosfato más abundante es el ortofosfato por tal razón se utiliza como parámetro de monitoreo de aguas residuales. El ion fosfato suele comportarse como un nutriente del crecimiento de algas, las cuales si no se controlan disminuyen el oxígeno disponible en el agua, aumenta la materia orgánica viva en el agua y en algunos casos se suscitan procesos de eutrofización (Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya, 2017).

6.2.5. Cadena de Custodia

La cadena de custodia refiere al protocolo que se establece para mantener bajo posesión física una muestra, de esta manera se asegura la integridad de la muestra y una mayor veracidad en los resultados obtenidos ya que el objetivo es conservar las propiedades del agua durante el ciclo de vida, desde su toma hasta que se realiza su análisis, el factor que más influye y al mismo tiempo es difícil de establecer es el tiempo de retención ya que depende de diferentes variables, sin embargo mediante los parámetros que se establecen en la cadena

de custodia se minimizan los porcentajes de error en los resultados (Instituto Nacional de Salud, 2011).

6.2.6. Contaminación del agua

La contaminación del agua hace referencia a la alteración de la composición física, química o microbiológica del agua, debido a la inclusión de material que degrada la calidad del agua. El proceso de contaminación afecta el desarrollo de organismos vivos en el agua, ya que generalmente alteran la fracción de oxígeno disponible, los minerales presentes y el material suelto, varios de los contaminantes producto de actividades antrópicas no se degradan con facilidad, por el contrario, se bioacumulan y biomagnifican.

6.2.7. Tipos de contaminación

Existen 2 tipos de contaminación se puede clasificar por la ubicación de su fuente, ya que de esta manera se puede determinar el comportamiento del contaminante sobre el cuerpo de agua receptor. En primer lugar, tenemos la contaminación puntal, que hace referencia a aquellos vertimientos o descargas contaminantes que se realizan en un punto específico a lo largo del recorrido de los cuerpos de agua, la cual permite identificar la composición de la carga contaminante al conocer su punto de origen. Por otro existe la contaminación difusa o contaminación de fuentes no localizadas, este tipo de contaminación es más compleja ya que depende varias variables por las cuales pasa el contaminante hasta llegar al cuerpo de agua receptor, generalmente estos contaminantes son producto de actividades que contaminan el suelo y por acción de escorrentía e infiltración llegan a diferentes cuerpos de agua, al no tener un punto claro es más difícil identificar las concentraciones el estado en que llegan a los

cuerpos de agua, ya que varios de ellos se degradan o reaccionan en el proceso de transporte en el suelo (Ongley, 1996).

6.2.8. Fuentes de contaminación de agua

La fuente u origen de contaminación en el agua puede ser de natural o antrópica, las fuentes naturales se originan por procesos escorrentía, degradación de materia orgánica o minerales y arrastre de materia, por tal razón la mayoría de ellas es biodegradable y fácilmente amortiguada por el cuerpo de agua. (Ongley, 1996) Por otro lado la contaminación de origen antrópico es más invasiva y su composición depende del tipo de actividad que la genera, estas se pueden dividir en 3 principalmente:

- Agrícola: Son producto de residuos animales y el uso de fertilizantes y plaguicidas, aportando nutrientes como el nitrógeno y fosforo en diferentes configuraciones por medio de procesos de escorrentía e infiltración (Ongley, 1996).
- Urbano o domiciliario: Debido al crecimiento demográfico se ha evidenciado un aumento de esta fuente de contaminación, la cual corresponde a los residuos líquidos en las viviendas o asentamientos humanos, estos vertimientos tienen una conexión directa en cuerpos de agua, generalmente a estos vertimientos no se les realiza procesos de pre tratamiento, su composición principal es de excretas, detergentes, grasas y algunos residuos sólidos (Ongley, 1996).
- Industriales: Son vertimientos de aguas que se contaminan en los procesos industrializados, su composición varía dependiendo la industria, sin embargo, pueden contener metales pesados, sustancias químicas, materia orgánica, grasas y aceites, entre otros. En este tipo de fuentes también se contempla el agua de los sanitarios, por tal motivo pueden tener la misma composición que el de fuentes urbanas, en varios

lugares se ha evidenciado que algunas industrias hacen sus vertimientos sin realizar tratamientos previos (Ongley, 1996).

6.3. Marco Legal:

Tabla 4 Normativa legal vigente para Calidad de Agua

Normatividad sobre el recurso hídrico	
Decreto 2811 de 1974	Artículo 86 a 89. Derecho al uso del agua de dominio público o privado.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 3930 de 2010	Por el cual se reglamenta en cuanto a los usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1514 de 2012	Por la cual se adoptan términos de referencia para la elaboración del plan de gestión de riesgos para el manejo y vertimientos.
Decreto 2667 de 2012	Por la cual se reglamenta la tasa de retribución por utilización directa o indirecta.
Resolución 1907 de 2013	Por la cual se expide norma técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.
Resolución 631 de 2015	Por el cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1076 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible.

RAS 2000	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Tratamiento de aguas residuales (<i>Título e</i>). Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural (<i>Título j</i>).
-----------------	--

Fuente: Elaboración propia

7. Metodología

7.1. Ubicación geográfica del área de estudio

El municipio de Silvania en el departamento de Cundinamarca se encuentra ubicado en la provincia del Sumapaz, teniendo una temperatura promedio entre los 14°C a 25°C (Climate Data, s.f.), con mayor volumen de precipitaciones en el mes de Abril y Noviembre, lo que infiere que el municipio posee un régimen bimodal, cuya época con más bajas precipitaciones corresponde al mes de Enero y Agosto (Weather Spark, 2016). El río Subia es la principal fuente de abastecimiento hídrico en Silvania, debido a que su cauce se sitúa de norte a sur en la mitad del municipio como se observa en la Figura 1, con asentamientos humanos y desarrollo de actividades económicas en la proximidad de cuerpos de agua superficial. La población en Silvania se distribuye a lo largo del municipio en centros poblados rurales, los cuales constituyen zonas de interés por su aporte al desarrollo económico del municipio, por esa razón, el área objeto de estudio se seleccionó en el tramo entre la Vereda Subia Delicias – Azafranal que se evidencia en el Anexos 2, el cual se ubica en el área central del municipio, de esta manera los resultados obtenidos son representativos, al evidenciarse diferentes actividades antrópicas que alteran la calidad el agua del río Subia.

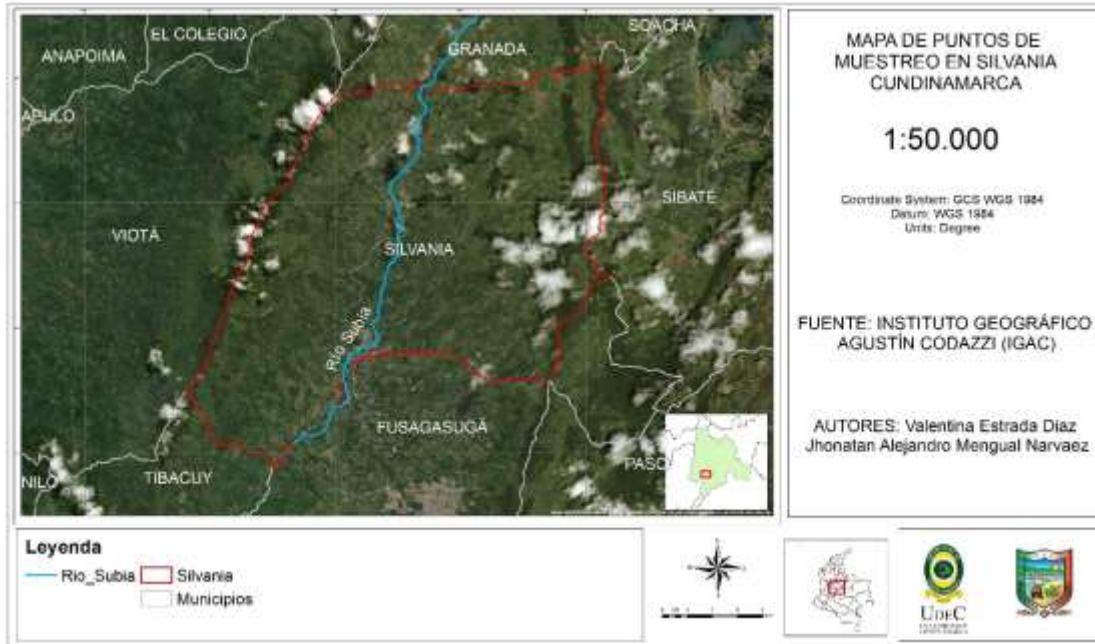


Figura 1 Ubicación espacial del municipio de Silvania y el Río Subia

Fuente: Elaboración propia, empleando información de ArcGIS 10.8 e IGAC

7.2. Diseño metodológico

La selección de las estaciones de muestreo, se llevó a cabo a través de un análisis preliminar que se realizó en el terreno siguiendo el cauce del río Subia, verificando la accesibilidad de la zona, la identificación de zonas de interés por la presencia de actividades agropecuarias y zonas de interés por la presencia de asentamientos urbanos Figura 3. Ubicación espacial de los puntos de muestreo designados, este estudio al ser de carácter exploratorio, sujeto a recursos económicos, logísticos e información fragmentada, busca consolidar estaciones de muestreo cuyos escenarios sean relevantes en las variaciones de la calidad del agua del río Subia.

Las fechas de muestreo se establecieron bajo la premisa de que se debían desarrollar en condiciones de precipitación diferente, teniendo en cuenta el régimen bimodal del municipio,

puesto que este flujo afecta el comportamiento hidrodinámico del efluente evaluado. La cualificación de la calidad del agua en el tramo designado, se realizó mediante la metodología del ICA-NSF y la metodología el ISQA, que abarcan características físicas, químicas y microbiológicas y su interpretación permite la asignación de usos potenciales.

Al conocer el estado de la calidad el agua del río Subia en el tramo evaluado, es necesario identificar las actividades colindantes que puedan generar impactos sobre el cuerpo de agua, posteriormente se cuantifican los impactos identificados mediante la metodología de Leopold, sustentados en el análisis de la calidad del agua previamente realizado, aunque el proyecto se restringe al factor ambiental del recurso hídrico, se cuantifican los impactos de las diferentes esferas perceptibles en el área objeto de estudio de manera descriptiva, que permitan contextualizar el entorno en el cual se realiza el proyecto.

Finalmente, con los resultados obtenidos de la cualificación de la calidad del agua y como se relacionan con la cuantificación de los impactos que se suscitan en el área objeto de estudio, se diseñan una serie de estrategias ambientales que permitan la gestión de los impactos identificados, con el objetivo de mejorar la calidad del agua del río Subia y concebir los beneficios que trae consigo este efecto para los usuarios.

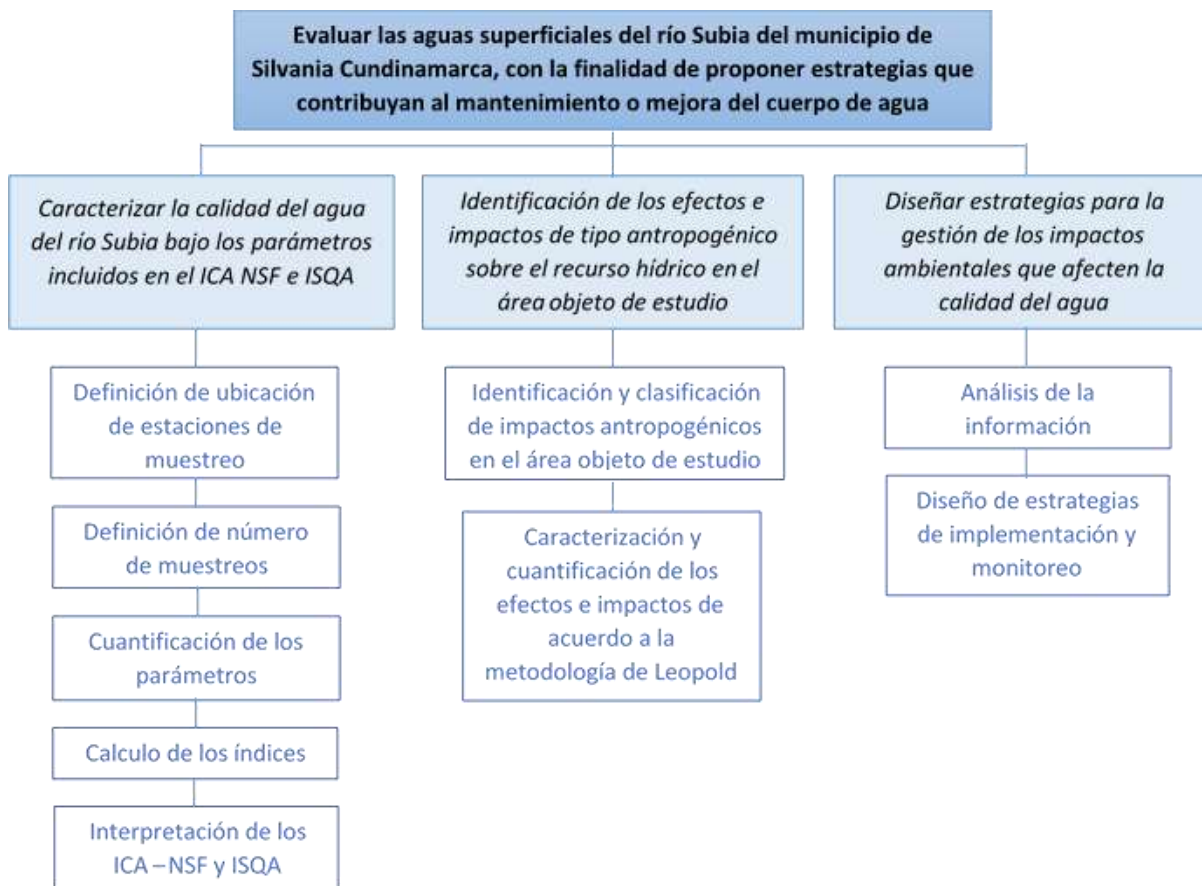


Figura 2 Esquema metodológico

Fuente: Elaboración propia

7.3. Fases Metodológicas

7.3.1. **Objetivo 1: Caracterizar la calidad del agua del río Subía bajos los parámetros incluidos en el ICA NSF y ISQA**

Actividades:

- 1) Se identificaron las zonas de interés para el municipio mediante un reconocimiento en campo, de igual forma, se tuvo en cuenta que sobre río Subia recaen varios afluentes a lo largo de su recorrido, por tal motivo se busca que las estaciones de muestreo planteadas, permitan evidenciar el comportamiento de los cuerpos de agua que

alimentan el cauce del río aguas arriba. Con los datos obtenidos se seleccionaron 3 puntos en el tramo Subia Delicias-Azafranal como se observa en la Figura 3. Ubicación espacial de los puntos de muestreo designados, teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado las estaciones de monitoreo quedaron definidas de la siguiente manera:

Tabla 5 Estaciones de monitoreo

	Estación 1 Vereda Subia Delicias	Estación 2 Vereda El Vergel	Estación 3 Vereda Azafranal
Coordenadas en Sistema WGS 84	X: -74,3777 Y: 4,45958	X: -74,376 Y: 4,453	X: -74,3756 Y: 4,44087

Fuente: Elaboración propia

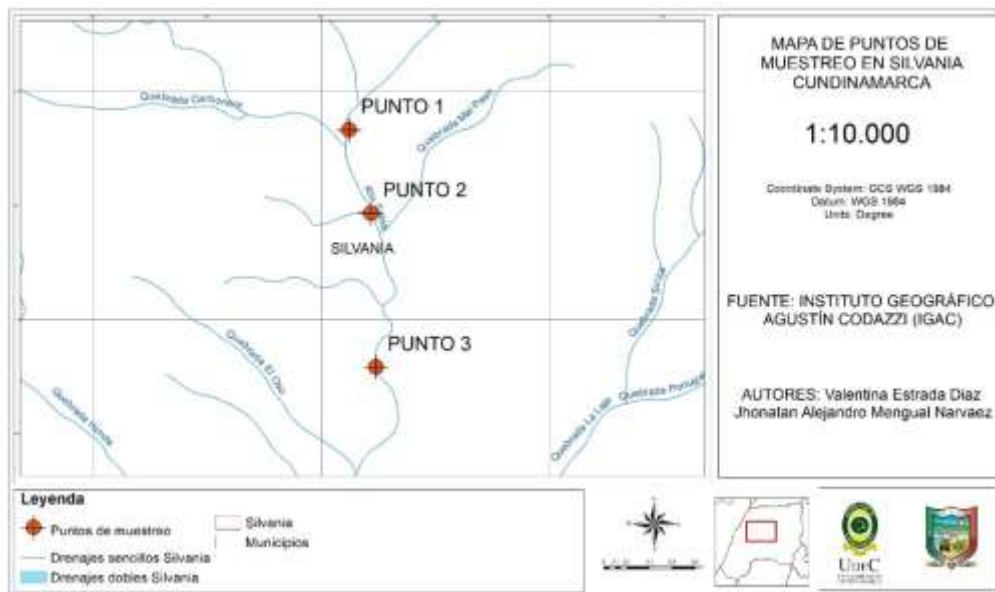


Figura 3. Ubicación espacial de los puntos de muestreo designados

Fuente: Elaboración propia, empleando información del IGAC

2) Definición de numero de muestreos:

Para la selección de las fechas de muestreo, se plantearon 2 épocas con condiciones de precipitación diferente , teniendo en cuenta el régimen bimodal del municipio, debido que esta condición meteorológica afecta de manera directamente proporcional el caudal del río Subia, esto se aprecia en la Figura 4, la cual evidencia el caudal del río Subia en una estación del IDEAM aguas abajo del área objeto de estudio, sin embargo, en el segundo período en el cual se realizó el presente trabajo (marzo-2021) aunque se esperaba una reducción en el caudal se evidenció un incremento como se observa en la Figura 4. Caudal medio mensual, Estación Sylvania (cod. 21197110) En el municipio históricamente la primera semana de marzo se manifiesta con bajas precipitaciones, sin embargo, en el momento del segundo muestreo se evidenciaron precipitaciones superiores a la del primer muestreo, razón por la cual se afirma que en el momento del segundo muestreo se vio afectado por el fenómeno de la Niña, como lo evidencia el boletín de monitoreo por parte del IDEAM, donde se aprecian anomalías negativas en la temperatura media del mar, lo anteriormente descrito se observa en la Figura 4.

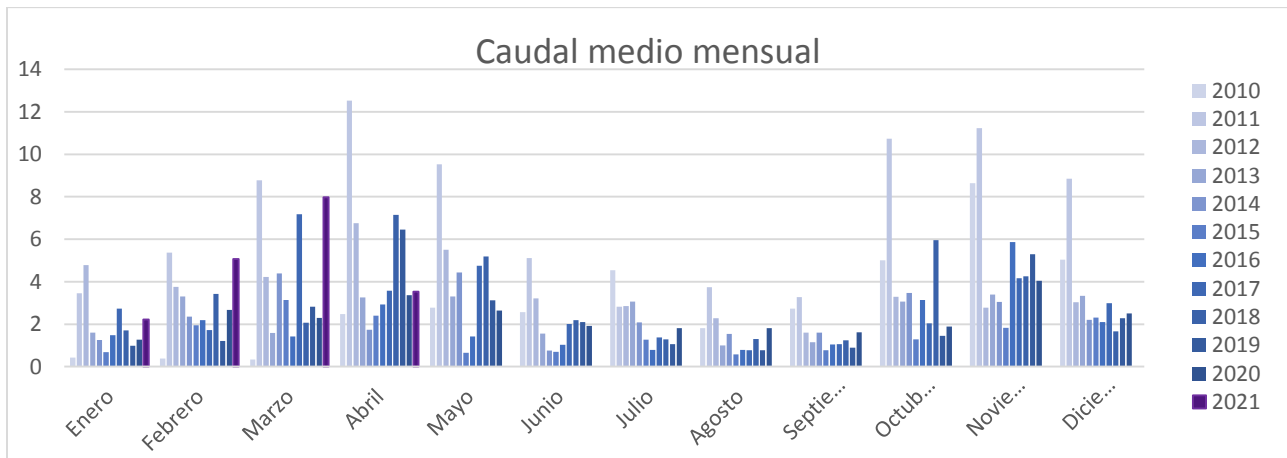


Figura 4. Caudal medio mensual, Estación Sylvania (cod. 21197110)

Fuente: Elaboración propia empleando información del IDEAM.

Finalmente en la *Tabla 6* podemos observar un resumen del trabajo realizado para la toma de muestras en el río Subia, en el tramo Vereda Subia Delicias- Azafranal.

Tabla 6 Resumen de Muestreos

Muestreos en el Río Subia		
<i>Tipo de muestra</i>	Compuesta	
<i>Muestreo</i>	1	2
<i>Fecha de muestreo</i>	01-Nov-2020	07-Mar-2021
<i>Tiempo</i>	2hr/Día	2hr/Día
<i>Estaciones de muestreo</i>	3	3
<i>N° de muestras</i>	1 por estación	1 por estación
<i>N° Replicas por muestra</i>	5	5
<i>Personal</i>	6 personas	

Fuente: Elaboración propia

3) Cuantificación de los parámetros

La cuantificación y selección de los parámetros se realizó teniendo en cuenta las metodologías a aplicar del ICA-NSF e ISQA, evaluando algunos parámetros in situ como lo son pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto, Conductividad y Turbidez, haciendo uso de los equipos y herramientas proporcionados por la universidad de Cundinamarca; la evaluación de los parámetros ex situ se realizó en las instalaciones del laboratorio certificado Analquim LTDA, estos parámetros evaluados fueron los Sólidos Disueltos Totales (SDT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Fosfatos (evaluado en Ortofosfatos), Nitratos, Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 Días (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Termotolerantes (Antes Coliformes Fecales). De esta manera los parámetros evaluados en el presente trabajo se relacionan en la *Tabla 7*.

Tabla 7 Cuantificación de los Parámetros

Parámetros a Evaluar	Unidades	Fundamento	Laboratorio
pH	Unidades de pH	pHmetro	Universidad de Cundinamarca
Temperatura	°C	Termómetro	Universidad de Cundinamarca
Oxígeno Disuelto	mg/l O ₂	Titulométrico	Universidad de Cundinamarca
Turbidez	Unidades Nefelometrías	Nefelométrico	Universidad de Cundinamarca
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	Gravimétrico secado a 180°C	Analquim LTDA
Sólidos Suspendidos Totales	Mg/L	Gravimétrico secado a 105°C	Analquim LTDA
Fosfatos	mg/l PO ₄ ⁻³	Colorimétrico	Analquim LTDA
Nitratos	mg/l NO ₃ ⁻	Espectrofotométrico U.V	Analquim LTDA
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L DBO	Incubación 5 días y electrodo de membrana	Analquim LTDA
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100 mL)	Fermentación Tubos múltiples	Analquim LTDA
Conductividad Eléctrica	µs/cm	Conductímetro	Analquim LTDA
Demanda Química de Oxígeno	mg/L DQO	Reflujo abierto y titulación	Analquim LTDA

Fuente: Elaboración propia

4) Cadena de Custodia

Este proceso se lleva a cabo para el control y vigilancia de las muestras, incluyendo los métodos de toma de la muestra, preservación, codificación, transporte y su correspondiente análisis:

- Etiquetas
- Sellos
- Formatos de toma de muestra
- Entrega de la muestra en el laboratorio

- Recepción y registro de la muestra

5) Cálculo de los índices:

a) ICA-NSF:

El cálculo del índice de calidad del agua (ICA-NSF), para cada muestra se obtiene a partir de nueve indicadores de calidad:

- ✓ Oxígeno Disuelto(mg/L)
- ✓ Coliformes Fecales (UFC/100 mL)
- ✓ pH(unidades)
- ✓ DBO5 (mg/L)
- ✓ Nitratos (mg/L)
- ✓ Fosfatos (mg/L)
- ✓ Temperatura(°C)
- ✓ Turbiedad (NT)
- ✓ Sólidos Disueltos Totales(mg/L)

Teniendo en cuenta esos parámetros, y el peso asignado por la NSF de cada parámetro *Tabla 1* se desarrolla la siguiente formula y se obtiene el valor calculado del ICA-NSF:

$$ICA - NSF = \prod_{i=1}^n SI_i^{W_i} = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

i=Cada uno de los nueve parámetros que requiere el cálculo del ICA.

SI_i=Subíndices correspondientes a cada parámetro.

W=Peso Asignado por la NSF a cada parámetro.

b) ISQA

Para el cálculo de este índice se tiene en cuenta las variables y sus respectivas formulas mencionadas en la (Tabla 4) los valores obtenidos se reemplazan en la siguiente fórmula.

Tabla 8 Variables y fórmulas de la ISQA

Índice de variable	Formula o valor
I_{Temp}	$I_{Temp} = 1$ si $T \leq 20$ °C $I_{Temp} = 1 - (t - 20) \cdot 0,0125$ si $T > 20$ °C
I_{Temp}	$I_{DQO} = 30 - DQO$ si, $DQO < 10$ mg/l $I_{Temp} = 21 - (0,35 \cdot DQO)$ si 60 mg/l $\geq DQO > 10$ mg/l $I_{DQO} = 0$ si, $DQO > 60$ mg/
I_{SST}	$I_{SST} = 25 - (0,15 \cdot SST)$ si, $SST \leq 100$ mg/l $I_{SST} = 17 - (0,07 \cdot SST)$ si, 250 mg/l $\geq SST > 100$ mg/l $I_{SST} = 0$ si, $SST > 250$ mg/l
I_{OD}	$I_{OD} = 2,5 \cdot OD$ si, $OD < 10$ mg/l $I_{OD} = 25$ si, $O_2 \geq 10$ mg/l
I_{cond}	$I_{cond} = (3,6 - \log CE) \cdot 15,4$ si $CE \leq 4000$ μ S/cm $I_{cond} = 0$ si $CE > 4000$ μ S/cm

Fuente: (Torres, Cruz, & Patiño, 2009)

6) Interpretación de los índices de calidad del agua

Los valores obtenidos en estos índices varían en una escala de clasificación 0 a 100 con 5 clasificaciones, sin embargo, los rangos de estas clasificaciones varían entre sí para el

ICA-NSF y el ISQA los cuales se evidencian en las Tablas 2 y 4 respectivamente y en siguiente gráfico:

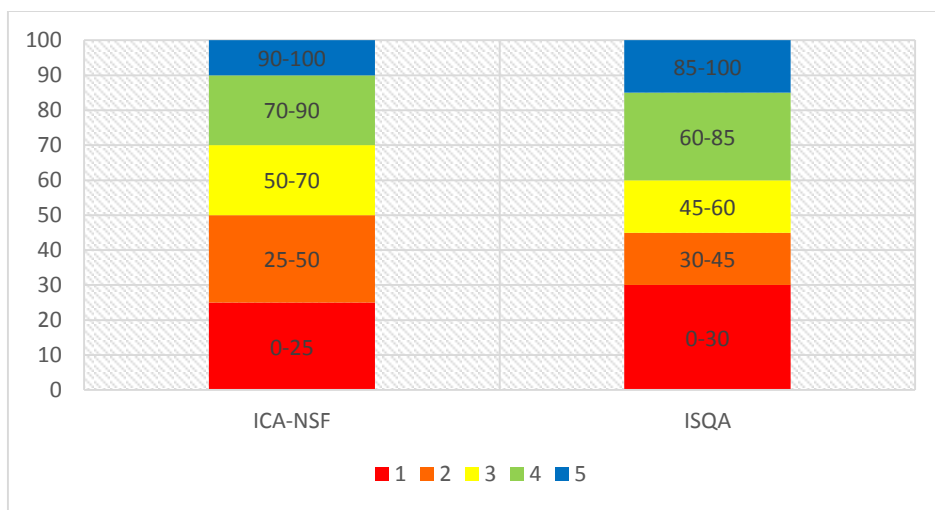


Figura 5 Comparación entre la clasificación ICA-NSF y ISQA (siendo 5 la mejor)

Fuente: Elaboración propia, empleando información de (Torres, Cruz, & Patiño, 2009)

Con los datos obtenidos en campo se realizó el cálculo de los índices y se le asignó la clasificación correspondiente teniendo en cuenta la bibliografía, posteriormente estos se comparan en una tabla, tanto el resultado de cada índice, como el código e interpretación asignada para cada estación de muestreo en las 2 épocas que se realizó.

7.3.2. Objetivo 2: Identificación de los efectos e impactos de tipo antropogénico sobre el recurso hídrico en el área objeto de estudio

Actividades:

1. Identificación y clasificación de impactos antropogénicos en el área objeto de estudio.

Identificación de las actividades económicas realizadas en Silvana en el área de influencia del río Subia, mediante el uso de DRONE cuyas imágenes se evidencian en el Anexo 1, reconocimiento en campo y recopilación de información por parte de la Alcaldía del municipio.

2. Caracterización y cuantificación de los efectos e impactos de acuerdo con la metodología de Leopold

Los impactos identificados sobre el área objeto de estudio serán detallados mediante una matriz de Leopold, que permite asociar la magnitud y escalas de los eventos suscitados, otorgándoles valores para su análisis.

Esta matriz permite el desarrollo para cada subconjunto que busca evaluar sus factores ambientales de suelo, aire, flora y fauna, social y enfatizando en el factor agua ya que el trabajo se restringe sobre este componente, mientras que la evaluación de los otros factores son de tipo descriptivo para contextualizar el estado de las actividades antrópicas sobre el efluente objeto de estudio, teniendo un método cualitativo y posibles efectos permitiendo una primera aproximación holística a la definición de impactos ambientales, siendo fácil de comprender e implementar. Para disminuir la subjetividad en la matriz de Leopold se tuvo en cuenta la caracterización de la calidad del agua, ya que se exponen condiciones actuales soportadas en resultados de laboratorio.

7.3.3. Objetivo 3: Diseñar estrategias para la gestión de los impactos ambientales que afecten la calidad del agua.

1) Análisis de la información

Este análisis de la información conjuga los índices de calidad de agua evaluados y los impactos sobre el área objetos de estudio, donde se relaciona las variaciones en cuanto a calidad del agua por efecto de los impactos identificados.

2) Diseño de estrategias de manejo ambiental y su respectivo seguimiento.

El diseño de estrategias se establece con el análisis de la información de calidad de agua e impactos identificados, ya que se empieza a puntualizar por las actividades económicas que tienen sus vertimientos en el Río Subia, de esta manera se pueden generar unas fichas de manejo ambiental donde se propone el pre-tratamiento de efluentes industriales, para el control de contaminantes y aguas residuales que se vierten.

Para que se lleve a cabo un debido proceso de seguimiento a la verificación de la calidad del agua del efluente, se proponen unos índices de seguimiento y monitoreo, que permitan dar continuidad al proyecto y garanticen un debido control de la calidad del agua mediante el uso de estos índices, contemplando en el informe la siguiente información:

- Plano donde se localicen los puntos muestreados.
- Metodología del muestreo.
- Resultados de laboratorio del muestreo.
- Análisis e interpretación de los resultados.
- Recomendaciones y acciones a seguir.
- Responsable de medidas correctivas a ejecutar si es el caso.

Tabla 9 Ficha de Manejo Ambiental



Ficha de Manejo Ambiental	
1. Objetivo	
2. Meta	
3. Impactos potenciales	
4. Tipo de medida	
5. Acciones a ejecutar	
6. Lugar de aplicación	
7. Responsable de ejecución	
8. Seguimiento	

Fuente: Elaboración propia

8. Resultados y Análisis



8.1. Resultados parámetros analizados en el río Subia.

Tabla 10 Resultados estación 1, Vereda Subia Delicias.

Estación 1 Vereda Subia Delicias X: -74,3777 Y: 4,45958					
					
Parámetro	Técnica o Instrumento	Muestreo 1		Muestreo 2	
		Resultado	Unidad	Resultado	Unidad
Coliformes Termotolerantes	Fermentación Tubos múltiples	9,40E+02	NMP/100 ml	4,14E+04	NMP/100 ml
D.B.O 5	Incubación 5 días y electrodo de membrana	19	mg/L O2	7	mg/L O2
D.Q.O	Reflujo abierto y titulación	54	mg/L O2	23	mg/L O2
Fósforo reactivo total	Colorimétrico	0,1	mg/L P	0,22	mg/L P
Nitratos	Espectrofotométrico U.V	1,1	mg/L N	2,3	mg/L N
Sólidos Disueltos total	Gravimétrico secado a 180°C	40	mg/L	35	mg/L
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico secado a 105°C	39	mg/L	29	mg/L
Temperatura	Termómetro	18,6	°C	20	°C
Turbiedad	Turbidímetro	27,54	NTU	26,5	NTU
Caudal promedio por jornada	Método velocidad/superficial	1,25	m ³ /s	1,94	m ³ /s
Oxígeno Disuelto	Titulométrico	7,2	mg/L	8	mg/L
pH	pH-metro	7,46	-	7,9	-
Conductividad	Conductímetro	0,14	mS	0,12	mS



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11 Resultados estación 2, Vereda El Vergel.

Estación 2 Vereda Vergel X: -74,376 Y: 4,453					
					
Parámetro	Técnica o Instrumento	Muestreo 1		Muestreo 2	
		Resultado	Unidad	Resultado	Unidad
Coliformes Termotolerantes	Fermentación Tubos múltiples	7,00E+02	NMP/100 ml	4,20E+04	NMP/100 ml
D.B.O 5	Incubación 5 días y electrodo de membrana	13	mg/L O2	3	mg/L O2
D.Q.O	Reflujo abierto y titulación	45	mg/L O2	27	mg/L O2
Fósforo reactivo total	Colorimétrico	0,1	mg/L P	0,09	mg/L P
Nitratos	Espectrofotométrico U.V	1,5	mg/L N	2,8	mg/L N
Sólidos Disueltos total	Gravimétrico secado a 180°C	41	mg/L	35	mg/L
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico secado a 105°C	42	mg/L	41	mg/L
Temperatura	Termómetro	19,1	°C	20	°C
Turbiedad	Turbidímetro	43,96	NTU	26,6	NTU
Caudal promedio por jornada	Método velocidad/superficial	2,79	m ³ /s	4,32	m ³ /s
Oxígeno Disuelto	Titulométrico	8,2	mg/L	9	mg/L
pH	pH-metro	6,94	-	8,5	-
Conductividad	Conductímetro	0,18	mS	0,15	mS

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12 Resultados estación 3, Vereda Azafranal.

Estación 3 Vereda Azafranal X: -74,3756 Y: 4,44087					
					
Parámetro	Técnica o Instrumento	Muestreo 1		Muestreo 2	
		Resultado	Unidad	Resultado	Unidad
Coliformes Termotolerantes	Fermentación Tubos múltiples	5,40E+04	NMP/10 0ml	2,94E+04	NMP/10 0ml
D.B.O 5	Incubación 5 días y electrodo de membrana	19	mg/L O2	3	mg/L O2
D.Q.O	Reflujo abierto y titulación	72	mg/L O2	21	mg/L O2
Fósforo reactivo total	Colorimétrico	0,11	mg/L P	0,04	mg/L P
Nitratos	Espectrofotométrico U.V	1,3	mg/L N	2,6	mg/L N
Sólidos Disueltos total	Gravimétrico secado a 180°C	45	mg/L	35	mg/L
Sólidos suspendidos totales	Gravimétrico secado a 105°C	43	mg/L	48	mg/L
Temperatura	Termómetro	19,5	°C	19	°C
Turbiedad	Turbidímetro	39,52	NTU	36,2	NTU
Caudal promedio por jornada	Método velocidad/superficial	3,58	m ³ /s	5,56	m ³ /s
Oxígeno Disuelto	Titulométrico	8,4	mg/L	9	mg/L
pH	pH-metro	7,21		8,85	
Conductividad	Conductímetro	0,12	mS	0,1	mS

Fuente: Elaboración propia.

Los documentos originales emitidos por el laboratorio Analquim LTDA se pueden apreciar en el Anexos 4, Anexos 5 y Anexos 6 para corroborar la veracidad de los resultados plasmados en la Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12.

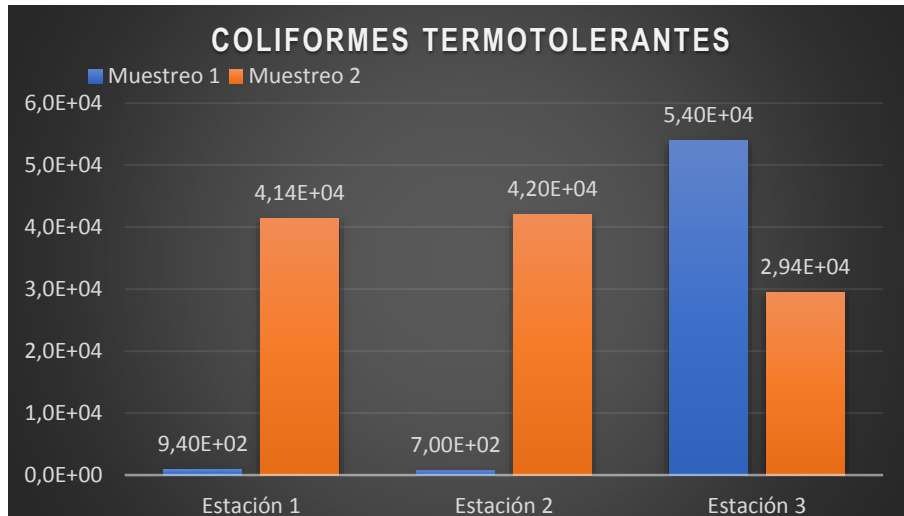


Figura 6 Concentración Coliformes termotolerantes.

Fuente: Elaboración propia

En la concentración de coliformes termotolerantes evaluados se evidencian altos valores, producto de los vertimientos de agua residual doméstica que se realizan de manera directa, al relacionarse con el estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano (FIODM, 2012), en el cual se encontraron altos contenidos de Coliformes Fecales similar al presente trabajo, se afirma que estos vertimientos disminuyen la calidad del agua del efluente, puesto que la sola presencia de estos microorganismos en el agua es un indicador cualitativo de contaminación. El comportamiento de la concentración de coliformes termotolerantes en la estación 1 y 2 se ve influenciado por la descarga de agua residual proveniente del asentamiento urbano de Subia, este se ubica aguas arriba de la primer estación de muestreo, y según información de la alcaldía, la mayoría de las viviendas realizan sus vertimientos de manera directa en los afluentes que alimentan el río Subia, el incremento en el segundo muestreo se explica en la hora de realización, ya que coincide con el caudal máximo horario según la resolución 330 del 2017, sin embargo el comportamiento durante el primer muestreo es anómalo ya que por el número de conexiones presentes se esperaría valores más altos de

coliformes fecales, por tal motivo no se descarta la posibilidad de un error procedimental que influyera en los resultados. El punto 3 particularmente se ve influenciado por la actividad porcícola, medianos productores que realizan su actividad económica en las cercanías de los afluentes que alimentan el río Subia, de igual forma también hay vertimientos domiciliarios, durante el muestreo 1 en la estación 3 se evidenciaron malos olores y un ligero cambio de color durante la toma de la muestra, lo que indica que en el momento se estaba realizando una descarga o vertimiento que incrementó la concentración de coliformes fecales.

Los coliformes fecales se utilizan como indicador de presencia de organismos patógenos, la *Escherichia coli* es uno de ellos, ya que se encuentran en el tracto digestivo humano y de algunos animales (Mora & Calvo, 2010), este microorganismo puede generar graves infecciones, por tal motivo al observar los resultados del agua del río Subia en Silvania, se infiere que el agua no es apta para su consumo directo, ya que podría generar graves problemas de salud pública, igualmente no se recomienda ni para riego de frutas u hortalizas, ni para actividades recreativas de contacto directo.

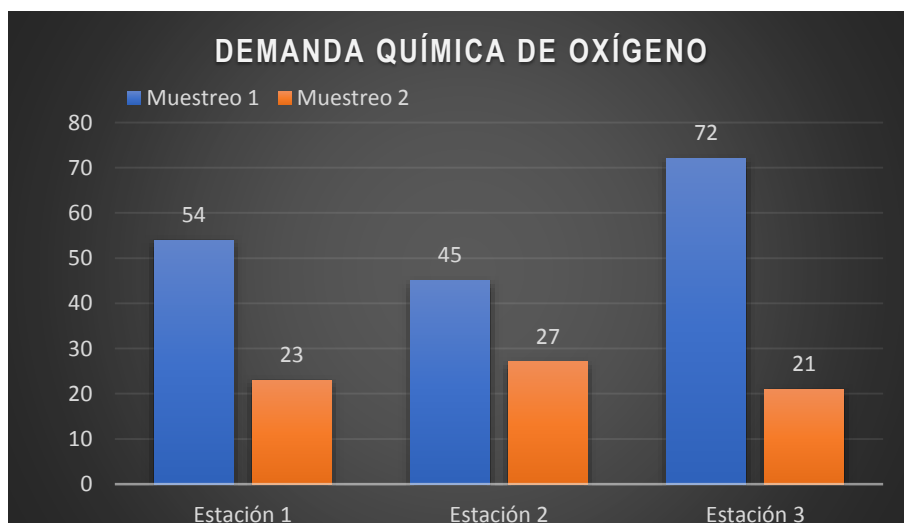


Figura 7 Concentración demanda química de oxígeno.

Fuente: Elaboración propia

En la demanda química de oxígeno evaluada se encontró que fue mayor para el muestreo 1 en todas las estaciones, cuyo pico fue en la estación 3 como se observa en la Figura 7. La contaminación del agua de fuentes superficiales es procedente de fuentes difusas alrededor del cauce de diferentes actividades de origen antrópico, donde los contaminantes no tienen un punto preciso de ingreso, ya que las aguas superficiales pueden contaminarse durante el proceso de escorrentía y el vertido de aguas residuales (Rosabal, Chang, Perez, & Morales, 2012). Sin embargo, para el trabajo realizado se identificaron algunas viviendas que hacen sus vertimientos sin ningún tratamiento preliminar, algunos metros antes de la estación 2 y 3, se evidencian actividades de agricultura y ganadería a menos de 50 metros del área objeto de estudio. Los valores de concentración de DQO analizados fueron comparados con los obtenidos en el estudio de caso en el Río Suárez Chiquinquirá – Boyacá (Pastran, 2017), en el cual se evidencia contaminación de origen antrópico en el cuerpo de agua superficial, debido a la descarga de aguas residuales crudas y aguas superficiales previamente contaminadas que desembocan al río, similar a lo que se pudo analizar para el tramo Vereda Subia Delicias - Azafranal.

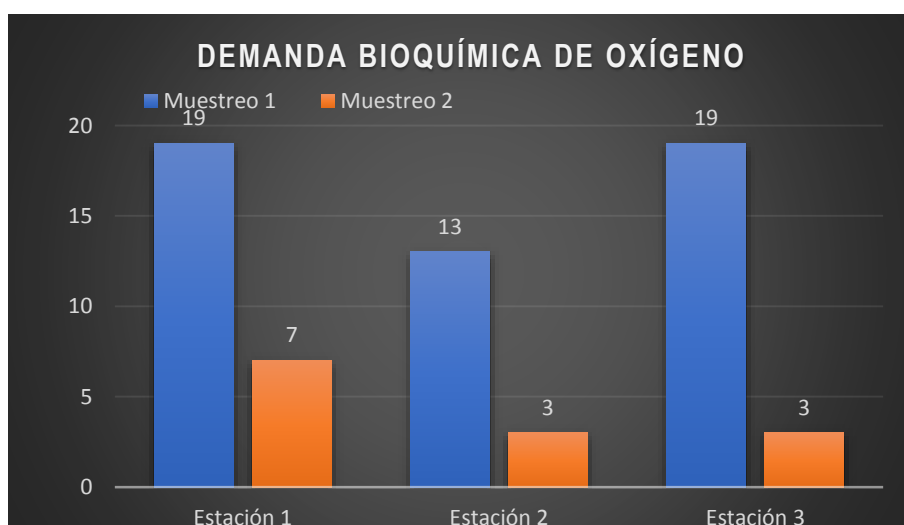


Figura 8 Concentración demanda bioquímica de oxígeno.

Fuente: Elaboración propia

La demanda bioquímica de oxígeno como se observa en Figura 8, es mayor en el muestreo 1 que en el muestreo 2, este incremento se puede relacionar con el pH ya que la DBO₅ indica la cantidad de oxígeno utilizado por microorganismos para estabilizar la materia orgánica biodegradable presente (IDEAM, 2013), por tal motivo al compararse con la Figura 8 se observa un decrecimiento proporcional al aumento de pH y al evaluarse con la Figura 6 de coliformes termotolerantes se infiere que en la estación 1 y 2, el contenido de material orgánico no es explícitamente de organismos patógenos. Para el parámetro de DBO₅ se realizó una comparación con el informe del Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) y UNIVALLE sobre el Río Lili en el área urbana de Santiago de Cali (DAGMA-UNIVALLE, 2009), se encontró, para este mismo parámetro un valor de 7,2 mg O₂/L, el cual se encuentra en el rango para corrientes consideradas moderadamente contaminadas. Debido a que los resultados obtenidos en el área objeto de estudio son similares o superiores al evidenciado en el estudio realizado en el río Lili, se afirma que el río Subia actualmente se suscitan procesos de contaminación.

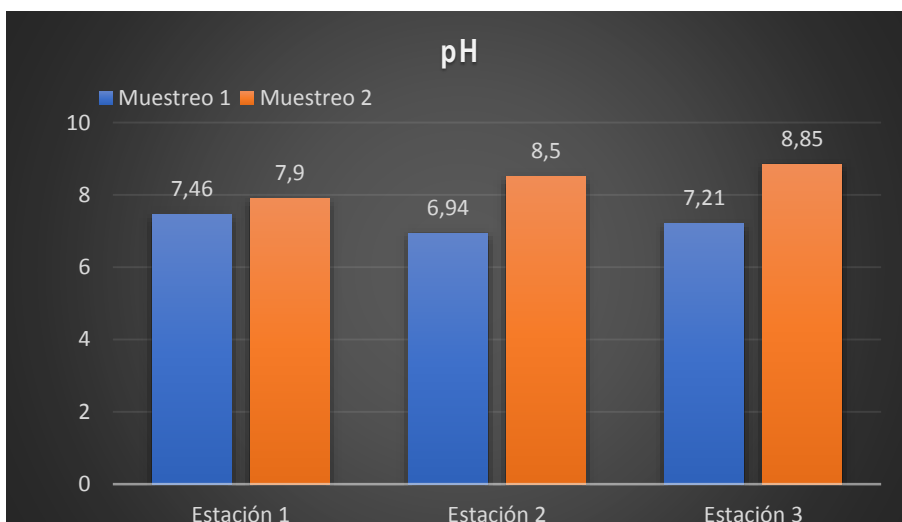


Figura 9 Concentración de pH.

Fuente: Elaboración propia

El pH es uno de los indicadores de calidad de agua que permite identificar que tan ácida o básica es el agua (Cevallos, 2002), al tener valores cercanos a 7 en el primer muestreo, se establece que el agua tiene buenas condiciones que permiten el desarrollo de la fauna acuática, sin embargo los valores de pH fueron mayores en el muestreo 2 con un incremento desde la estación 1 a la 3 respectivamente como se observa en la Figura 9, este aumento se puede suscitar dado que los vertimientos que se realizan de manera directa al río Subia van contaminados con detergentes, algunos de estos detergentes tienen un pH básico que podrían disminuir tasas de crecimiento, al inhibir procesos de reproducción de especies sensibles.

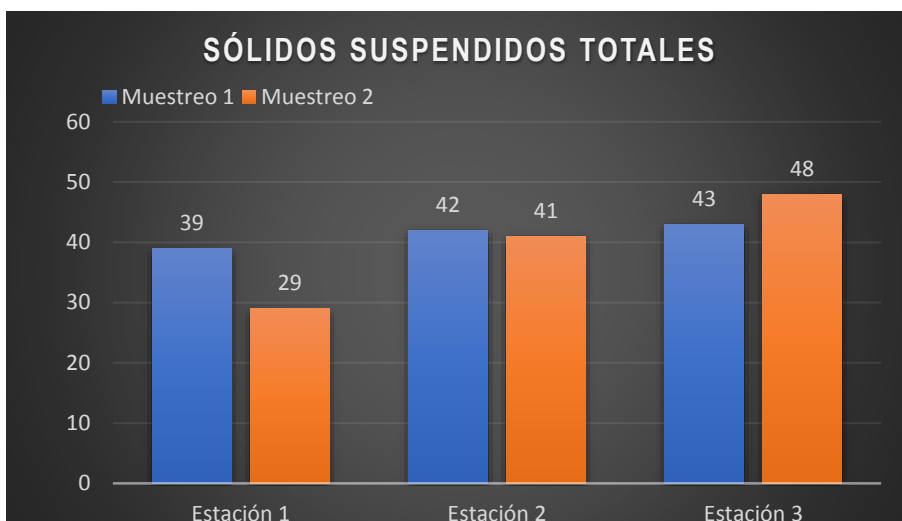


Figura 10 Sólido suspendidos totales.

Fuente: Elaboración propia

Los sólidos suspendidos son aquellos sólidos que no son filtrables, estos sólidos tienen la particularidad de que se sedimentan con acción de la gravedad (Vargas Meneses, 2010). Los vertimientos traen consigo aumento del material particulado, en la Figura 10 se observa un incremento de los SST de las estaciones de la 1 a la 3, estos se debe principalmente a los

vertimientos de aguas residuales domésticas que se generan a lo largo del tramo, ya que al aumentar el material particulado, se incrementa indirectamente los SST. De igual forma, cabe destacar que río Subia es un cuerpo de agua que es alimentado por varios afluentes a lo largo de su recorrido, que en conjunto con el comportamiento hidrodinámico del río generan un incremento de los SST de forma natural.

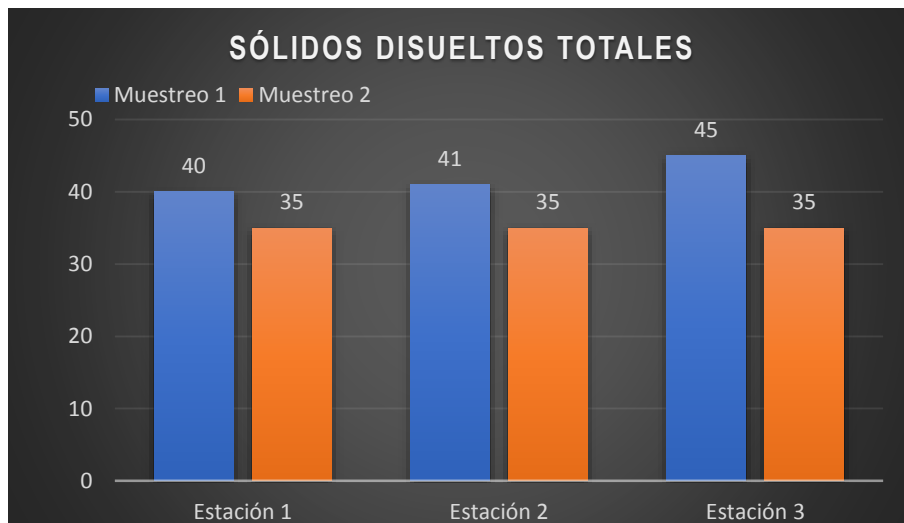


Figura 11 Concentración Sólidos disueltos totales

Fuente: Elaboración propia

Los sólidos disueltos totales son partículas filtrables y no sedimentables que se encuentran en el agua, estos sólidos están estrechamente ligados a la conductividad eléctrica de manera proporcional, el cual se puede comprobar al observar los resultados en la Figura 11, teniendo en cuenta que la conductividad eléctrica está directamente relacionada con la contaminación. (Vargas Meneses, 2010). En ese orden de ideas los resultados evidencian bajos niveles de contaminación, con una reducción en el muestreo 2 debido al aumento del cauce y la dilución de estos sólidos.

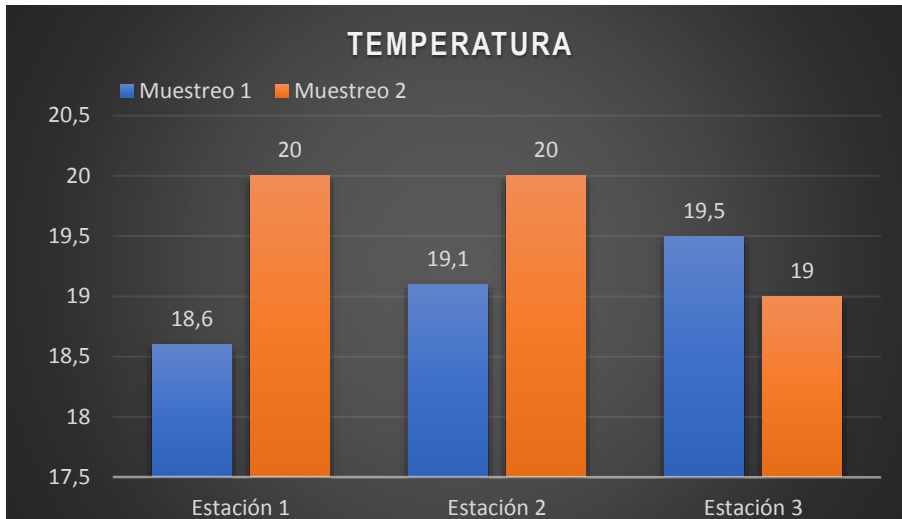


Figura 12 Temperatura

Fuente: Elaboración propia

La temperatura del agua para el río Subia no mostró mayor variabilidad, sin embargo, sus variaciones se deben probablemente a que la temperatura de los vertimientos es mayor a la del cuerpo receptor, acción que puede afectar la fauna y flora por el choque de temperaturas, aumentando el crecimiento de bacterias, acelerando algunas reacciones químicas y promoviendo el crecimiento de algas, que en el peor de los casos generan procesos de eutrofización y reducción en los niveles de oxígeno (Vargas Meneses, 2010). Estos vertimientos ingresan con partículas que impiden que los rayos del sol atraviesen el fluido, razón por la cual se retiene la energía generando el incremento de la temperatura en el agua.

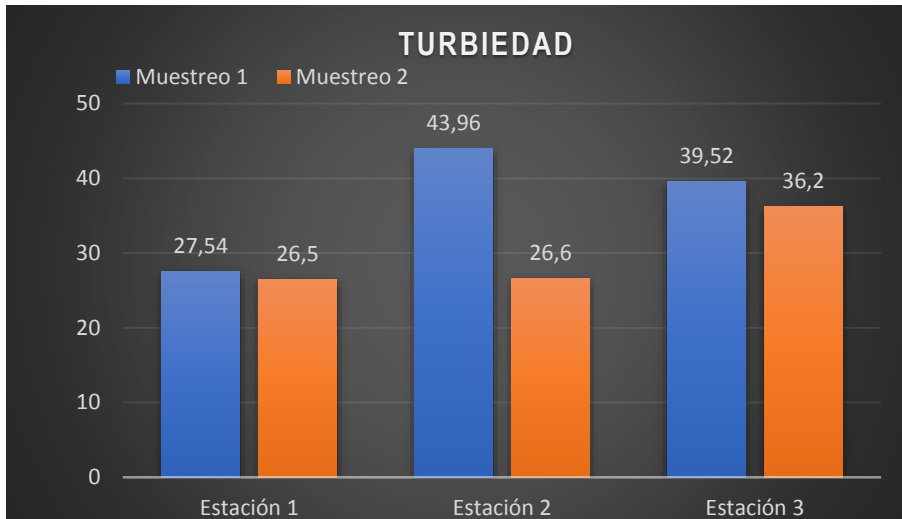


Figura 13 Concentración de turbiedad

Fuente: Elaboración propia

Dado que la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de ella (IDEAM, 2007), se establece una correlación con el material suspendido y coloidal en el agua, los aumentos que se evidencian en Figura 13 corresponden a las estaciones 2 y 3, donde se evidencian vertimientos de agua residual doméstica, los cuales incrementan esta concentración de material en la muestra de agua, asimismo, el comportamiento hidrodinámico del efluente y la turbulencia generada por el choque del cauce con las rocas explican este fenómeno, sin embargo, es difícil establecer una correlación directa debido a que varía el tamaño, forma e índice de refracción de las partículas que afectan las propiedades de dispersión de la luz.

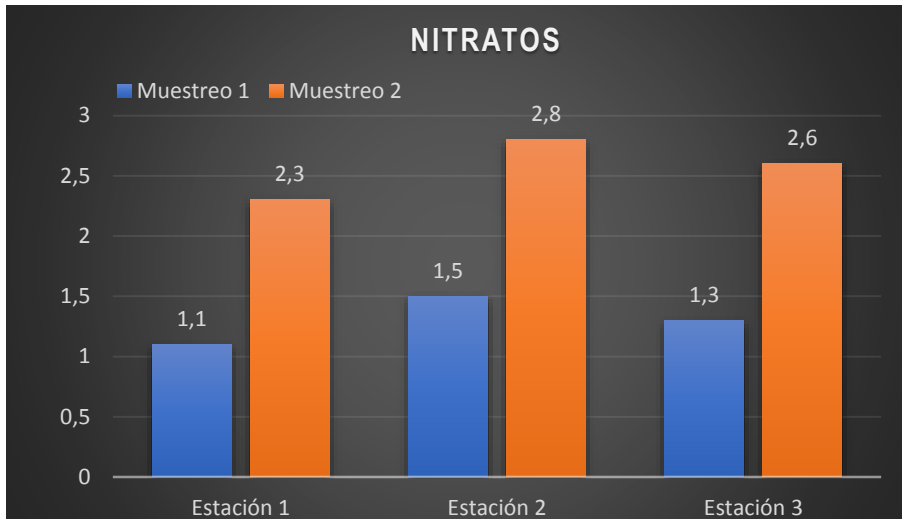


Figura 14 Concentración de nitratos

Fuente: Elaboración propia

Si bien es cierto que los nitratos forman parte del ciclo natural del nitrógeno, las actividades humanas incrementan sus niveles principalmente en el suelo, debido a su solubilidad en el agua, llegan a fuentes hídricas por procesos de escorrentía e infiltración cuando se presentan períodos de precipitación alta. Las principales rutas de ingreso de nitrógeno a las masas de agua son a través de aguas residuales industriales o municipales, por tanques sépticos o descargas de corrales ganaderos y residuos animales (Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya, 2017). En el río Subia en el primer muestreo se evidenciaron niveles de concentración bajos, principalmente consecuencia de procesos naturales, sin embargo, en el segundo muestreo se evidencia un ligero incremento, el cual está influenciado por los vertimientos de aguas residuales que se generan aguas arriba.

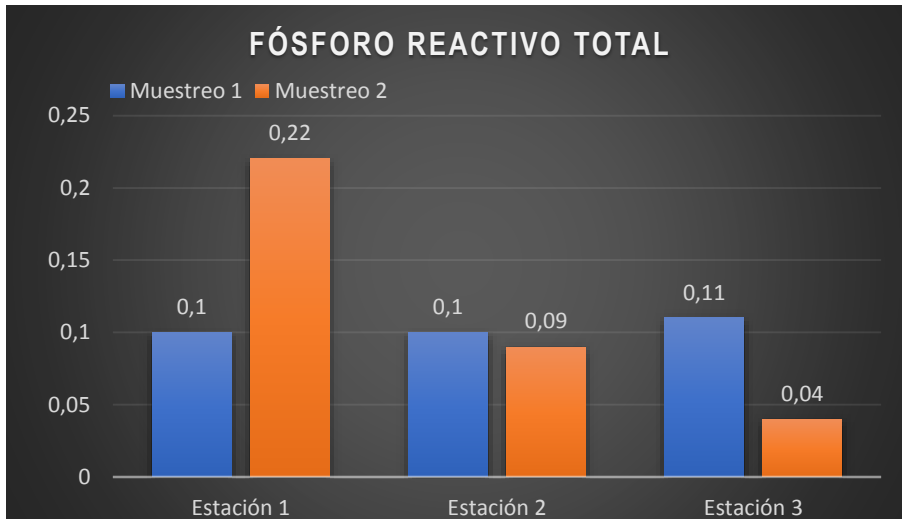


Figura 15 Concentración fósforo reactivo total.

Fuente: Elaboración propia

El fosforo reactivo total se mide en el ion fosfato, principalmente ortofosfatos, en el análisis realizado al río Subia, se encontró una baja concentración, la cual puede provenir de agentes naturales del suelo y minerales, así como del estiércol y otros tipos de materia orgánica proveniente de desechos agrícolas. (Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya, 2017) Sin embargo también está presente en algunos detergentes, razón por la cual se puede explicar el incremento en la estación 1 en el segundo muestreo, proveniente de las descargas realizadas en el asentamiento urbano rural de Subia.

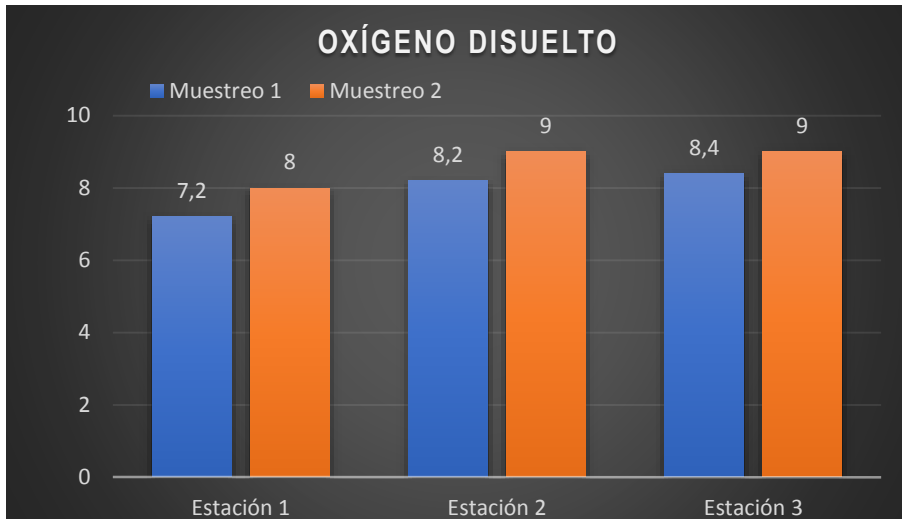


Figura 16 Concentración oxígeno disuelto.

Fuente: Elaboración propia

El oxígeno disuelto es un parámetro importante al evaluar la calidad del agua ya que evidencia la presencia y grado de contaminación de un cuerpo de agua, este parámetro va de la mano con la DBO y DQO dado que mientras el OD es la oferta, la DBO y DQO son la demanda, es decir existe una relación inversa entre ellos (Jimenez N. T., 2015). En el río Subia se evidencia altas concentraciones de oxígeno disuelto principalmente por su caudal y comportamiento hidrodinámico, que se justifican con el incremento de OD en el segundo muestreo donde se aprecia un aumento de caudal.

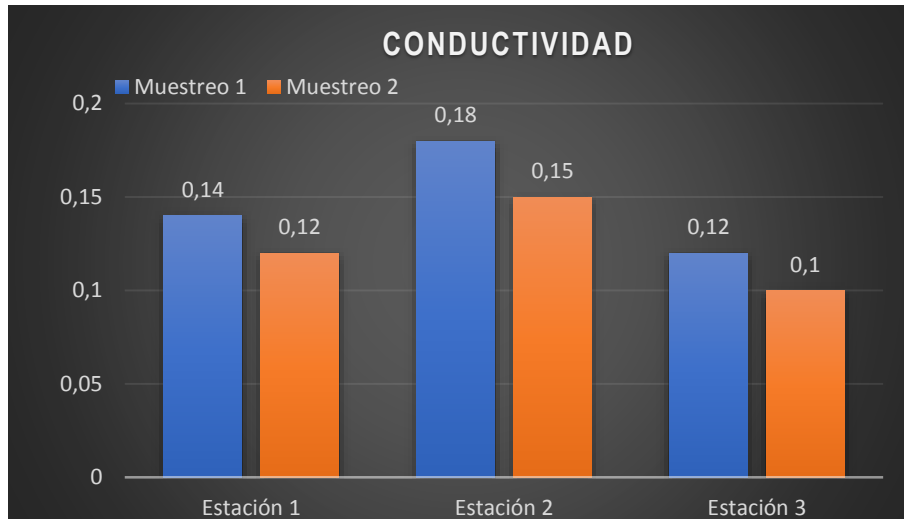


Figura 17 Concentración conductividad.

Fuente: Elaboración propia

La conductividad permite conocer el grado de contaminación del agua, midiendo la actividad eléctrica de los iones en dilución, de esta manera se puede relacionar con los SDT (Vargas Meneses, 2010). Los resultados del río Subia evidencian que hay mayor conductividad cuando el caudal es más bajo en el muestreo 1, y que hay un incremento en la estación 2 debido al vertimiento que se genera en la urbanización El Vergel. No obstante, las concentraciones son bajas y no se evidencian grados de contaminación demasiado elevados.

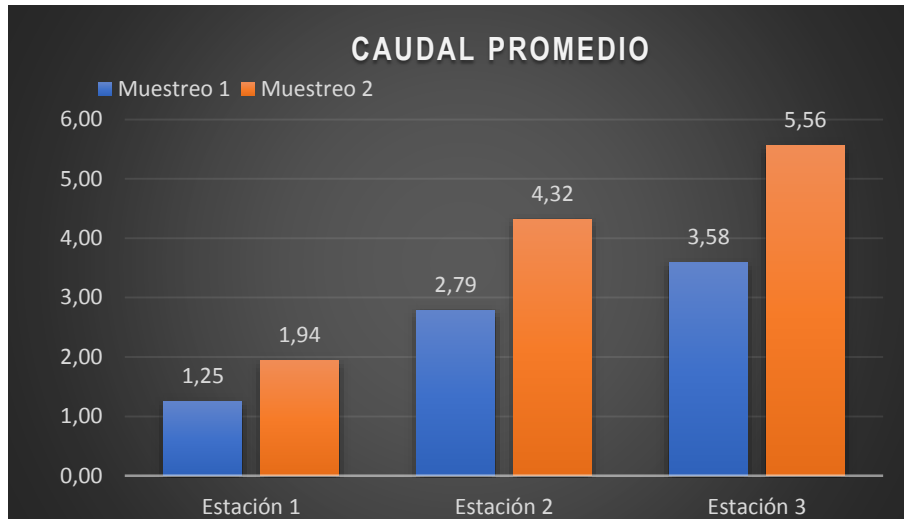


Figura 18 Caudal promedio por estaciones

Fuente: Elaboración propia

El caudal de un cuerpo de agua superficial se ve directamente influenciado por el volumen de las precipitaciones que se suscitan en el territorio que se ubica, esto se debe a que los efluentes se alimentan por procesos de escorrentía, los cuales se generan dentro del ciclo del agua, es decir existe una proporcionalidad entre el caudal del efluente y la precipitación que se suscita. En el río Subia, se evidenciaron altas precipitaciones durante los 2 muestreos, siendo el segundo muestreo con mayor precipitación debido al fenómeno de la niña que se estaba presentado en el país, teniendo en cuenta la diferencia de volumen de precipitación, se observa un aumento en el caudal en el segundo muestreo con respecto al primero, igualmente mediante la *Figura 3. Ubicación espacial de los puntos de muestreo designados*, se puede identificar que el río Subia es alimentado por drenajes sencillos a lo largo de su cauce, en la medida que se avanza en las estaciones de muestreo de la 1 a la 3, se observan varios ríos de primer nivel que aumentan el caudal cuando descargan y se unen al río Subia.

8.2. Resultados ICA-NSF.

Tabla 13 Resultados de los subíndices por parámetro del ICA-NSF

PARÁMETRO	PESO	ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3	
		Q(Subíndice)		Q(Subíndice)		Q(Subíndice)	
		Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2
Coliformes Termotolerantes	0,16	54	7	33	7	5	9
D.B.O 5	0,11	22	45	25	71	12	85
Fósforo reactivo total	0,1	98	90	99	90	98	98
Nitratos	0,1	96	90	98	95	96	90
Sólidos Disueltos total	0,07	85	87	87	85	86	85
Temperatura	0,1	22	20	22	20	21	22
Turbiedad	0,08	55	56	45	56	48	48
% saturación	0,17	95	98	96	90	95	92
pH	0,11	92	83	84	80	85	60
ICA NSF		69,28	62,43	65,18	63,96	58,98	63,82

Fuente: Elaboración propia

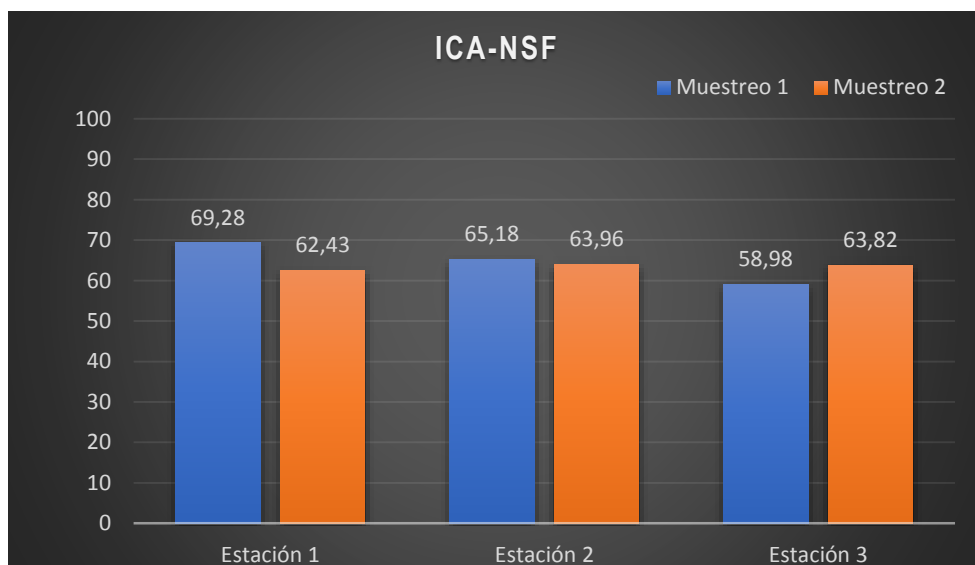


Figura 19 Resultados ICA-NSF por estaciones.

Fuente: Elaboración propia

Los coliformes termotolerantes son un indicador de microorganismos potencialmente patógenos en el agua, por tal motivo su presencia disminuye la calidad del agua, ya que aumenta el riesgo a problemas de salud pública. En el área objeto de estudio se evidenció una mejor calidad para este parámetro en las estaciones 1 y 2, ya que en la estación 3 del muestreo 1 y todas las estaciones del muestreo 2, la concentración es muy alta, superior a >5000 NMP/100ml el cuál es el máximo permisible según el decreto 1594 de 1986 para su aprovechamiento, lo que infiere que se debe realizar un tratamiento biológico previo antes de cualquier explotación (Mora & Calvo, 2010). Este parámetro disminuye considerablemente el valor total del ICA-NSF, ya que en su ponderación Tabla 1 Peso Asignado por la NSF, es el segundo con más valor dentro de su cálculo.

Como se mencionó anteriormente la DBO₅ es un indicador de microorganismos aerobios presentes en el agua, dado que en el segundo muestreo la concentración de DBO₅ fue menor, la calidad del agua evaluada en este parámetro incrementa, permitiendo más opciones de aprovechamiento. Sin embargo, para el primer muestreo el índice de calidad se ve afectado de manera negativa.

El pH del agua es una condición ambiental importante para la fauna y flora de los ecosistemas, generalmente se encuentran en valores cercanos a 7 (Neutro), por tal motivo en el río Subia para el ICA-NSF, se evidencia altos valores en cuestión de calidad, de igual forma el pH del agua determina el comportamiento cuando se inducen algunas sustancias únicas; el pH al estar cercano a 7, es menos probable que reaccione, además, cuando el valor de pH en el agua varía drásticamente, infiere cargas contaminantes químicas altas, que para este caso no aplica.

Como se mencionó anteriormente los Sólidos Disueltos Totales se relacionan con la contaminación, dadas las bajas concentraciones de SDT en el río Subia, estos alcanzan valores altos dentro del ICA-NSF. A diferencia del ISQA, en el ICA NSF no se evalúa

conductividad, pero dada la estrecha relación que existe con los SDT, para el índice se deduce una baja conductividad.

Los nitratos al ser evaluados mediante la metodología del ICA-NSF, se observa que no representan mayor riesgo que disminuya la calidad del agua, sus valores de concentración se deben probablemente, a procesos naturales de escorrentía en suelos fértiles y la descomposición en nitratos del contenido de amonio presente en la excretas, que se vierten al río Subia (Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya, 2017).

Como se mencionó anteriormente las concentraciones de ortofosfatos son relativamente bajas, por esta razón, no afecta en gran medida de manera negativa en el ICA NSF, con esto se puede resaltar que el volumen de vertimientos con carga contaminante de este parámetro, es fácilmente amortiguado por el río y su comportamiento hidrodinámico.

La temperatura interviene en los procesos reproductivos de la fauna y flora, de igual forma puede aumentar el crecimiento de bacterias, acelerar reacciones químicas, reducir niveles de oxígeno y acelerando procesos de eutrofización (Bolaños Alfaro, Cordero Castro, & Segura Araya, 2017), por tal motivo, en el ICA-NSF se obtiene un valor bajo, dado que fomentan los procesos anteriormente mencionados.

El oxígeno disuelto es un indicador de la oferta de oxígeno que es soporte para la fauna y flora circundante, esta concentración de oxígeno depende también de la temperatura, razón por la cual algunas veces se expresa en porcentaje de saturación (Peña Pulla, 2017). En el ICA-NSF se evalúa el OD en % de saturación, donde se encontraron altos niveles en el río Subia, este infiere alta calidad del agua en función del OD que permite sostener la fauna y flora.

La aplicación del ICA-NSF, está orientada a aguas para ser empleadas como fuente de captación para consumo humano (Torres, Cruz, & Patiño, 2009), por tal, motivo aunque la

mayoría de índices arrojaron relativamente buenos estándares de calidad de agua, el parámetro de coliformes termotolerantes disminuye de manera drástica el índice, dado que posee una ponderación alta en su cálculo, ya que la vocación del ICA-NSF es enfocada al consumo humano, las aguas contaminadas con coliformes fecales traen consigo afectaciones a la salud humana, las fuentes contaminadas con alta presencia de estos coliformes requieren tratamientos específicos para su remoción, los procesos de potabilización deber garantizar la ausencia de estos, sin embargo actualmente el tramo evaluado no se identifican dichos tratamientos específicos, por lo que se infiere que la población está expuesta a riesgos que comprometen su salud y bienestar.

Se evidencia que el ICA-NSF es relativamente constante sobre el río Subia es decir los impactos se realizan a lo largo del río disminuyen la calidad del agua, de igual forma se afirma que el río no posee el comportamiento hidrodinámico necesario para depurar y reducir las cargas contaminantes durante su recorrido, principalmente la de coliformes termotolerantes, por el contrario, se evidencia un ligero aumento en las concentraciones ya que aguas abajo se encuentran más viviendas e impactos de origen antropogénico que afectan el cuerpo de agua.

8.3. Resultados ISQA.

Tabla 14 Resultados de los subíndices por parámetro del ISQA

PARAMETRO	ESTACION 1		ESTACION 2		ESTACION 3	
	Subíndice		Subíndice		Subíndice	
	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2
D.Q.O	2,10	12,95	5,25	11,55	0,00	13,65
Sólidos suspendidos totales	19,15	20,65	18,70	18,85	18,55	17,80
Temperatura	1	1	1	1	1	1
Oxígeno Disuelto	18,00	20,00	20,50	22,50	21,00	22,50
Conductividad	22,39	23,42	20,71	21,93	23,42	24,64
ICA ISQA	61,64	77,02	65,16	74,83	62,97	78,59

Fuente: Elaboración propia

La demanda Química de Oxígeno es un parámetro importante que evidencia la materia que es susceptible de oxidación, ya sea biodegradable o no biodegradable (Rosabal, Chang, Perez, & Morales, 2012), la fracción de esta DQO que no pertenece a materia orgánica, corresponde a productos químicos y su origen es principalmente por fuentes de contaminación antrópicas, por tal motivo, se evidencia una disminución de la calidad del agua mediante la metodología del ISQA al evaluarse en este parámetro, donde en el muestreo 1 se observa un mayor concentración de DQO lo que se refleja en menor calidad del agua. Este incremento de la DQO se debe a contaminación antrópica en el área objeto de estudio, producto por los vertimientos de agua residual doméstica e industrial, la cual contiene productos químicos y microorganismos que aumentan esta materia susceptible de oxidación, de igual forma, las actividades agropecuarias impactan de manera indirecta al ser una fuente de contaminación difusa, ya que por procesos de escorrentía, los residuos de los productos químicos principalmente utilizados en la agricultura llegan al cuerpo de agua superficial.

Los Sólidos Suspendidos Totales se utilizan con frecuencia para evaluar las cargas contaminantes y de esta manera, poder determinar los tipos de tratamiento más adecuados, ya que si se evidencian altas concentraciones de este parámetro, se evalúa la viabilidad de un sistema de tratamiento que incluya la sedimentación discreta para el ISQA, es un parámetro que también permite evaluar la turbidez del río Subia de forma indirecta, esto deriva en mayor oportunidad de aprovechamiento directo y en bajo costos para mejorar la calidad en este aspecto.

El oxígeno disuelto en el ISQA se evalúa de forma más lineal que en el ICA-NSF, por tal razón el incremento del índice es proporcional a los de concentración de oxígeno disuelto. En el ISQA la oferta de oxígeno en estado gaseoso toma un alto valor, debido a que ayuda a comprender el comportamiento de la muestra de agua analizada, para el caso en particular en el río Subia,

se evidencia un comportamiento de cauce dinámico, que permite la inclusión del oxígeno disuelto mediante incorporación de oxígeno atmosférico al cuerpo de agua por procesos de difusión, de esta manera, al comparar este parámetro con la DQO, se evidencia una oferta superior a la demanda, lo que permite sostener la fauna y flora acuática.

Dado que la conductividad eléctrica se utiliza como un subíndice que determina la contaminación por parte de la intervención antrópica, los puntos donde se observa mayor concentración de conductividad eléctrica, se evidencia una disminución en la calidad del agua, sin embargo, ese no es el caso del río Subia en el tramo evaluado, ya que los valores de conductividad son relativamente bajos, por lo que se infiere que el efluente no posee gran cantidad de iones disueltos que sean conductores de electricidad.

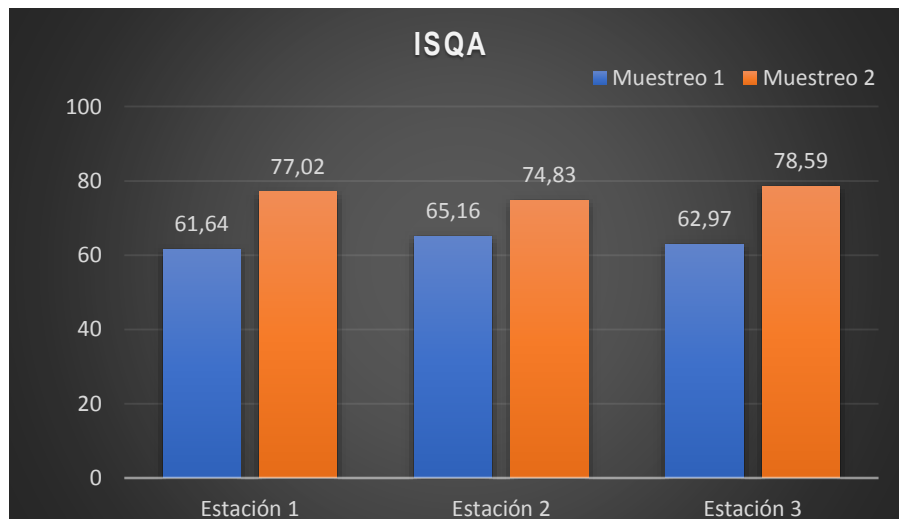


Figura 20 Resultados ISQA por estaciones.

Fuente: Elaboración propia

El ISQA en el río Subia evidencia un comportamiento constante entre los 3 puntos de muestreo, sin embargo se puede observar un incremento en el muestreo 2 con respecto al muestreo 1, este incremento se debe principalmente al aumento del oxígeno disuelto en el

agua, ya que es uno de los parámetros más importantes evaluados dentro del índice, este aumento en la concentración de este parámetro se debe al proceso de sobre saturación que se suscita en el río Subia, dado que su comportamiento hidrodinámico tiene mayor energía, debido al aumento de caudal por el fenómeno de la niña que se suscitó durante la época del muestreo 2. Por otro lado, también se evidencia una disminución de la DQO, debido a que la carga contaminante se ve más diluida por el mismo incremento del caudal.

El ISQA facilita una idea rápida de la calidad del agua del efluente evaluado, sin embargo se queda corto cuando se evalúa individualmente, ya que no comprende parámetros que le permitan entender más del contexto, al no abarcar el dimensionamiento microbiológico en su metodología (Ajcabul Raxhón, 2016), por esta razón aparentemente para el ISQA en el río Subia, se evidencia buenas condiciones de calidad, que infieren que solo deben realizarse tratamientos convencionales, pero esta deducción es errónea ya que al evaluarse parámetros microbiológicos como lo es el de Coliformes termotolerantes, el cual no se contempla en el ISQA, se afirma que el agua del río Subia que vaya a ser aprovechada en actividades de contacto directo, riego o consumo, debe ser tratada con técnicas especializadas en la remoción de microorganismos, específicamente aquellos que son patógenos o nocivos para la salud.

8.4. Interpretación índice de calidad

Tabla 15 Interpretación Índices de Calidad de Agua

Época de muestreo	Estación	Valor ICA NSF	Cód.	Interpretación	Valor ISQA	Cód.	Interpretación
Muestreo 1	1	69,28	3	Mediana Calidad	61,64	4	Consumo humano con tratamientos convencionales
	2	65,18	3	Mediana Calidad	65,16	4	Consumo humano con tratamientos convencionales

	3	58,98	3	Mediana Calidad	62,97	4	Consumo humano con tratamientos convencionales
Muestreo 2	1	62,43	3	Mediana Calidad	77,02	4	Consumo humano con tratamientos convencionales
	2	63,96	3	Mediana Calidad	74,83	4	Consumo humano con tratamientos convencionales
	3	63,82	3	Mediana Calidad	78,59	4	Consumo humano con tratamientos convencionales

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 13 Resultados de los subíndices por parámetro del ICA-NSF y la Tabla 14 Resultados de los subíndices por parámetro del ISQA, muestra los resultados obtenidos en el índice de calidad de agua de la fundación nacional de saneamiento (ICA-NSF) y el índice simplificado de calidad de agua (ISQA), los cuales son una herramienta práctica para el monitoreo y toma de decisiones. Para los 2 muestreos en las 3 estaciones, no se encontró una variación significativa de los índices entre ambas fechas de muestreo, se evidenció que se mantuvo en el mismo rango dentro del índice de calidad. El ISQA es un índice que permite visualizar una idea preliminar del estado de fuentes hídricas (Torres, Cruz, & Patiño, 2009), sin embargo, la clasificación obtenida de 4 para el ISQA (Consumo humano con tratamientos convencionales) se queda corta ya que no se evalúa el factor biológico, el cual si se contempla en el ICA-NSF, este índice refleja que aunque el río Subia posee buena oferta de oxígeno disuelto y baja contaminación química, su contaminación por coliformes fecales disminuyen drásticamente la calidad del río y es de esperarse, ya que el parámetro de coliformes fecales permite identificar la posible presencia de organismos patógenos en el agua, por lo tanto para sus posibles usos de consumo y agricultura se debe realizar un tratamiento especial.

Los factores antrópicos son la principal fuente de contaminación y deterioro ambiental del río Subia, dado que se desarrollan en la proximidad de su cauce. En la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla

13 observamos los resultados de la estación 1, estación 2 y estación 3 respectivamente, allí se puede apreciar que el parámetro con mayor contaminación de los evaluados es el de coliformes fecales, el cual es producto de las descargas residuales domésticas que tienen conexión directa al efluente. Al no tener un sistema de tratamiento, vierten una alta carga orgánica, impactando el medio ambiente e impidiendo que la calidad del agua se mantenga en óptimas condiciones. El análisis microbiológico es vital para prevenir el riesgo en temas de salud pública, puesto que al identificarse de manera oportuna se evitan infecciones relacionadas con el grupo de bacterias tifoide-paratifoide. El ICA-NSF permite interpretar de manera sencilla la calidad del río Subia, contemplando el componente microbiológico y admite el seguimiento en un análisis multitemporal.

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad de agua, los valores normales varían entre los 7.0 y 8.0 mg/L. La fuente principal del oxígeno es el aire, el cual se incorpora rápidamente por difusión (Roldan perez, 2003). En el río Subia en el segundo muestreo se aprecian valores por encima de este rango, lo que conlleva a una sobresaturación de OD, esto se debe a 2 aspectos principalmente, el primero es el aumento de caudal dado el fenómeno de la niña, con precipitaciones por encima de las normales y por consiguiente un aumento del caudal, lo que genera mayor turbulencia incorporando mayor cantidad de oxígeno debido al comportamiento hidrodinámico del río; el segundo aspecto es la disminución de la DBO₅ y la DQO que infieren una menor demanda de oxígeno en el efluente aumentando la oferta .

8.5. Identificación y caracterización de los efectos e impactos de tipo antropogénico mediante la matriz de Leopold

Mediante la aplicación de la metodología de Leopold que se visualiza la Figura 21 y en el Anexo 3, se busca la identificación y caracterización de los efectos e impactos ambientales teniendo como enfoque principal el componente agua, sin embargo, se contemplan otros factores ambientales que se evaluaron de forma descriptiva, contextualizando las actividades que impactan este efluente para plantear el diseño de estrategias de manejo ambiental enfocadas al recurso hídrico para su manejo integral.

ACTIVIDAD		Modificación del régimen										Transformación del terreno y construcción					Expl. del recurso	Procesamiento			Mod. terreno	Renovación de recursos		Cambios en el tráfico				Emplazamiento y tratamiento de residuos			Tratamientos químicos		Accidentes	RESULTADOS AMBIENTALES				
		Modificación de hábitad	Alteración de la cobertura vegetal del suelo	Control de ríos y modificación de flujo	Canalización	Irrigación	Quema de bosques	Pavimentación	Ruido y vibraciones	Urbanización	Carreteras y puentes	Caminos y senderos	Barreras, incluyendo cercas	Canales	Explotación de materiales de construcción	Agricultura		Ganadería y pastoreo	Alimentos	Paisajismo		Reforestación	Reciclaje de residuos	Automóviles	Camiones y transportes de carga	Senderos	Tuberías y conductos forzados	Eliminación de basura	Descarga de agua residual doméstica	Tanques sépticos, comerciales y domésticos	Fertilización	Control de insectos con pesticidas		Vertidos y filtraciones	TOTAL DE IMPACTO	PROMEDIO POSITIVOS	PROMEDIO NEGATIVOS	IMPACTO POR SUBCOMPONENTE
SUELO	Contaminación química	-2	-4	-4			-2	-2					-2	-3	-5	-4	-2	2	4						-5	-3		-5	-5		17	2	15	-133	-133			
	Aire	Emisión de olores	-2		-5	-4	-4	-2					-2	-2						2						-2	-3	-5	-5	-2	-2	-2	17	1	16	-80	-80	
Agua	Calidad del agua	-3	-2		-2	-2							-2	-4	-1	-3	-2			1					-5	-3	-6	-4			-6	15	1	14	-119	-402		
	Composición química				-4	-2	-2							-4	-4	-2	-2									-5	-5	-2	-2	-4	12	0	12	-81				
	Contenido de materia orgánica		-4		-3	-3	-2								-4	-3	-2									-5	-9	-6	-5	-2	-3	12	0	12	-107			
	Turbidez			-5	-3	-2								-4	-4	-2										-2	-5	-5	-1	-6	11	0	11	-95				
FLORA Y FAUNA	Habitad	-3	-7			-2	-6	-3	-2	-5	-2		-2	-2	-6	-5		4	2	1	-2	-2	-2	-5	-5	-2	-2	-2	-2	-5	25	3	22	-233	-448			
	Diversidad	-3	-7				-6	-3	-2	-5	-2		-2	-2	-6	-5		4	4	1	-2	-3	-2	-2	-4	-2	-2	-2	-2	-5	24	3	21	-215				
SOCIAL	Aprovechamiento de la tierra	3	4	4	4	5	4	2		6	5	5	2	4	5	5	-4	2	4	4																		
	Generación de empleo	5	4				2	4		5	3	4			5	5	5	4	3	2																		
PRMEDIOS POSITIVOS		2	2	1	1	1	2	2	0	2	2	2	1	1	1	2	1	2	5	5	5	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0				43			
PRMEDIOS NEGATIVOS		5	5	3	5	6	6	3	2	4	3	0	2	2	6	7	8	4	0	0	0	2	3	3	4	7	8	7	7	5	8				125			
PROMEDIOS ARITMETICOS		-21	-49	-34	-9	-9	-56	-10	-4	-3	26	34	-2	6	-6	-44	-72	21	68	53	10	-12	-20	-5	-48	-64	-111	-58	-14	-20	-54				-507			

Figura 21 Matriz de Impacto Ambiental de la metodología de Leopold

Fuente: Elaboración propia, Guía (Ramos Soberanis, 2004)

El factor ambiental con impacto negativo más significativo, es el Hábitat, en sus componentes de Flora y Fauna, esto debido a los efectos producidos en el desarrollo de la actividad agrícola que varían de acuerdo a los métodos, la escala de producción agrícola, técnicas y tecnologías. La agricultura contribuye con la deforestación y la liberación de óxido nítrico en la aplicación de fertilizantes (Mora & Calvo, 2010). Por otra parte, la Ganadería y pastoreo afectan significativamente al subcomponente Hábitat, por los procesos de deforestación que impulsan la destrucción de bosques, provocando fragmentación del hábitat y la pérdida de la biodiversidad.

El factor ambiental que sigue en la valoración de los impactos negativos, es el componente Agua, teniendo como subcomponente más afectado negativamente la Calidad del Agua, por aguas residuales y residuos sólidos que son actividades propias del desarrollo humano. La actividad que más afecta este factor ambiental son las descargas de aguas residuales domésticas que se evidencian directamente en las zonas de muestreo (Tamayo & Cuartas, 2018).

Para este trabajo se analizó los índices de calidad del agua que proporcionan un valor global, incorporando valores individuales de una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que se muestrearon en los puntos más significativos del área objeto de estudio (CAR, 2018).

Para la evaluación de la calidad del agua del río Subia y el impacto ambiental que las aguas residuales tienen sobre el mismo, se realizó un proceso de muestreo y análisis de las muestras en el laboratorio, de modo que el mismo ayudo a entender mejor el tipo de concentración y comportamiento de los distintos contaminantes a lo largo del río, lo que concuerda con la matriz de impacto; en el segundo componente se refleja el impacto negativo que hay sobre la calidad del agua en el río Subia, teniendo como actividades que lo afectan los tanques sépticos domésticos y comerciales, también la descarga directa de aguas residuales domésticas, puesto

que no están siguiendo la normativa legal vigente para el adecuado tratamiento de estas aguas residuales, debido a que en el área de influencia se ven las tuberías y conductos forzados, afectando el nivel de concentración en el río para ambas épocas en que se realizaron dichos muestreos (Solano Arce, 2011).

Dado el desarrollo que se viene dando en la zona, tales como el incremento en las actividades agrícolas, ganaderas y pastoreo, se encontró que el cuerpo de agua no se puede utilizar con fines recreativos de contacto primario o para el riego de cultivos que se consumen crudos, sobrepasando el límite máximo permisible en su contenido de coliformes fecales que establecen los reglamentos nacionales (Mora & Calvo, 2010).

La concentración de DBO5 se ve afectada por los coliformes fecales, evidenciando que es uno de los problemas más influyentes en el deterioro de los cuerpos de agua. Las características físicas y químicas del ambiente influyen en el crecimiento microbiano, el aumento de la materia orgánica promueve el desarrollo de bacterias que consumen cantidades importantes de oxígeno, esta concentración se relaciona con la DQO que es un indicativo de la biodegradabilidad de la materia contaminante presente en el cuerpo de agua (Méndez, San Pedro, Castillo, & Vázquez, 2010).

La DQO evalúa tanto la concentración de las fracciones biodegradables, como no biodegradables de la materia orgánica, incluyendo la de aquellos compuestos inorgánicos que pueden ser oxidados químicamente. Dicha contaminación debe ese estado a la acumulación de pesticidas, colorantes, coliformes fecales, fertilizantes etc. (Jimenez & Vélez, 2006).

No obstante, se han encontrado diversas problemáticas en los pozos sépticos, ya que no remueven eficientemente el contenido de materia orgánica, generando impactos ambientales negativos, entre los cuales se encuentran: aumento de riesgo de eutrofización de cuerpos de

aguas cerca de los ríos, falta de mantenimiento y remoción de lodos, lo que genera muerte de los microorganismos encargados de la digestión en estas estructuras, impidiendo que este proceso se pueda realizar periódicamente (Naranjo Agudelo, 2019).

El oxígeno disuelto en el agua tiene una gran importancia en los sistemas acuáticos, ya que su presencia y concentración definen el tipo de especies que ocurren de acuerdo con sus tolerancias y rangos de adaptación, por ende, establecen toda la estructura y funcionamiento biótico de estos sistemas (CORTOLIMA, 2011).

Se ha evidenciado que la calidad del agua se ve modificada por diferentes causas, aunque algunas son de origen natural, la mayoría se presenta por la intervención del hombre, esto genera cambios en la composición y estructura de los cuerpos de agua (Martínez & Arias, 2018). El río Subia no es la excepción, ya que en el tramo evaluado se demostró que la presión antrópica, genera impactos en su mayoría negativos sobre la calidad del agua y el ecosistema presente, dado que las actividades que se realizan actualmente no contemplan el factor ambiental, por tal motivo, no se implementan estrategias que permitan un mejor manejo sobre los recursos, al ejecutarse acciones de mitigación y control sobre las actividades económicas que apunten a la sostenibilidad.

8.6. Diseño de estrategias de manejo ambientales

El diseño de las estrategias para la gestión de impactos en el río Subia en el tramo Subia Delicias-Azafranal, es producto del análisis de la relación que existe entre la caracterización de la calidad del agua mediante la metodología del ICA-NSF e ISQA, con la identificación de impactos de origen antropogénico en la matriz de Leopold, de esta manera se

establecen estrategias para las diferentes actividades que se realizan en el área objeto de estudio, y cuyas acciones repercuten en la calidad del agua del río Subia.

MONITOREO DE LA CALIDAD FÍSICA, QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA							
1. Objetivo							
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar los cambios de la calidad del agua para identificar los cambios producidos por las actividades antrópicas y la efectividad de las medidas de manejo ambiental implementadas. • Realizar el seguimiento al cumplimiento de las medidas para reducir o mitigar los impactos sobre los cuerpos de agua. 							
2. Meta							
<ul style="list-style-type: none"> • Dar cumplimiento a la normatividad legal vigente para lo concerniente de calidad de agua. • Dar seguimiento a las acciones de mitigación empleadas a lo largo del río Subia 							
3. Impactos Potenciales							
<ul style="list-style-type: none"> • Alteración en la calidad del agua. • Afectación áreas sensibles ambientales. • Afectación fauna acuática. • Afectación fauna y flora circundantes. • Problemas de salud pública. 							
4. Tipo de medida							
Control	X	Prevención		Mitigación		Compensación	
5. Acciones a ejecutar							
<p>El monitoreo de calidad de agua genera información sobre diferentes variables físicas, químicas y biológicas de un determinado cuerpo de agua. Los programas de monitoreo perciben una gran cantidad de datos comparables a través del tiempo. Por tanto, permiten tener un registro de variables útiles para estimar la calidad del agua e identificar si está siendo afectada por el uso y/o manejo que se está realizando, y así establecer recomendaciones de gestión enfocadas a mejorar la salud pública y proteger el ecosistema. Para el monitoreo de agua mediante la metodología del ICA-NSF e ISQA se evalúan los parámetros de coliformes fecales, D.B.O₅, D.Q.O, fósforo reactivo total, nitratos, sólidos disueltos total, sólidos suspendidos totales, temperatura, turbiedad, oxígeno disuelto, pH y conductividad, con estos datos se realizan los cálculos correspondientes a la metodología propuesta.</p> <p>Cada vez que se realice monitoreo de aguas se deberá contemplar la normatividad legal vigente y elaborar un informe con la siguiente información:</p>							

a) Mapa y ubicación de las estaciones de muestreo. b) Metodología del muestreo. c) Resultados de laboratorio y de los índices aplicados. d) Análisis e interpretación de los resultados. e) Recomendaciones y acciones a seguir.				
6. Lugar de aplicación				
Área de influencia antrópica sobre el río Subia donde se susciten acciones de contaminación				
7. Responsable de ejecución				
Autoridades locales y ambientales.				
8. Seguimiento				
Indicador	Descripción del indicador	Tipo de indicador	Periodicidad de evaluación	Registro de cumplimiento
ICA-NSF	Índice de calidad basado en parámetros, pesos ponderados y subíndices para ser empleados en el cálculo	Cualitativo	Según lo requiera	Informes de monitoreo
ISQA	Índice de calidad de fácil aplicación basado en parámetros, y subíndices para ser empleados en el cálculo	Cualitativo	Según lo requiera	Informes de monitoreo

ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA AGUAS RESIDUALES DE ALCANTARILLADOS VEREDALES	
1. Objetivo	
<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la concentración de cargas contaminantes provenientes de vertimientos de aguas residuales domésticas en centros poblados • Plantear una posible solución de saneamiento eficiente que aporte a la mitigación de impactos sobre el río Subia 	
2. Meta	
<ul style="list-style-type: none"> • Dar cumplimiento a la normatividad legal vigente para lo concerniente a vertimientos en cuerpos de agua superficial • Recuperar condiciones de calidad sobre el río Subia 	
3. Impactos Potenciales	
<ul style="list-style-type: none"> • Alteración en la calidad del agua. • Afectación áreas sensibles ambientales. 	

<ul style="list-style-type: none"> • Afectación fauna acuática. • Afectación fauna y flora circundantes. • Problemas de salud pública. 							
4. Tipo de medida							
Control	X	Prevención		Mitigación	X	Compensación	
5. Acciones a ejecutar							
<p>Es necesaria la construcción sistema de tratamiento de aguas residuales, este Consiste en un sistema anaeróbico enfocado a reducir la materia orgánica que se vierte en el cuerpo de agua receptor, el sistema de tratamiento se enfocará en la reducción de esta teniendo en cuenta el Título J del RAS “Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural”, las estrategias de tratamiento se componen de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rejillas de cribado: Su principal objetivo es retener objetos de gran tamaño llevados por el efluente (trapos, toallas sanitarias, pañales, envases de plástico, hojas de árbol, etc.). Se debe realizar un mantenimiento periódico a estas estructuras • Desarenador: Es una estructura diseñada para retener partículas por sedimentación discreta principalmente arenas, sin embargo, cumple un doble propósito ya que también estabilizaría el caudal para que facilite los posteriores sistemas de tratamiento. • Trampa de grasas: Estas son unidades muy sencillas las cuales funcionan por medio el sistema de flotación de las partículas de grasas, las cuales al ser menos densas que el agua flotan y quedan atrapadas en una cámara por donde el agua pasa por la parte inferior de una pantalla, de esta manera el agua sale sin partículas de grasa. • Reactor anaerobio de flujo ascendente en manto de lodos: En este tipo de reactor el agua es introducida por el fondo del reactor a través de unas boquillas uniformemente distribuidas, pasa a través de un manto de lodos y posee una estructura de sedimentación integrada al mismo tanque que permite el retorno de los lodos de manera natural al espacio de reacción inferior. • Cloración: Tanque donde se culmina el proceso de tratamiento realizando adición de cloro <p>Finalmente se debe analizar los parámetros establecidos en la resolución 631 de 2015 antes y después del sistema de tratamiento para llevar a cabo un debido control de eficiencia del sistema de tratamiento y verificar que se cumpla con la normatividad legal vigente.</p>							
6. Lugar de aplicación							
Centros poblados cuya densidad poblacional justifiquen la inversión económica.							
7. Responsable de ejecución							
Autoridades locales con la aprobación de la Autoridad Ambiental y de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios							
8. Seguimiento							
Indicador	Descripción del indicador	Tipo de indicador	Periodicidad de evaluación	Registro de cumplimiento			
% de remoción de	((Concentración del parámetro antes del sistema	Cuantitativo	Al poner en marcha el	Informes de laboratorio			

carga contaminante	de tratamiento – concentración del parámetro después del sistema de tratamiento)*100)/(concentración del parámetro antes del sistema de tratamiento)		sistema de tratamiento y cada vez que se le realice mantenimiento	
--------------------	--	--	---	--

VERTIMIENTOS EN INDUSTRIA DE SACRIFICIO DE AVES							
1. Objetivo							
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar medidas de manejo ambiental en el área de proceso que mitiguen y/o controlen la contaminación de aguas en el sitio de origen • Mejorar la calidad de los vertimientos. 							
2. Meta							
<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la calidad de agua vertida a los cuerpos de agua superficial • Implementar medidas que permitan dar cumplimiento a la normativa legal vigente 							
3. Impactos Potenciales							
<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecostos en los sistemas de tratamiento. • Alteración en la calidad del agua. • Afectación áreas sensibles ambientales. • Afectación fauna acuática. • Contaminación de suelos por descarga de residuos • Contaminación de aire por generación de olores 							
4. Tipo de medida							
Control	X	Prevención		Mitigación	X	Compensación	
5. Acciones a ejecutar							
<p>Realizar una caracterización fisicoquímica del agua que se vierte directamente al cuerpo de agua superficial.</p> <p>Diseñar unidades para el tratamiento del agua residual producida con el fin de ajustar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para que estos se encuentren dentro de los límites permisibles de la normativa legal vigente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rejillas de cribado: Su principal objetivo es retener objetos de gran tamaño llevados por el efluente (trapos, toallas sanitarias, pañales, envases de plástico, hojas de árbol, etc.). Se debe realizar un mantenimiento periódico a estas estructuras • Trampa de grasas: Estas son unidades muy sencillas las cuales funcionan por medio el sistema de flotación de las partículas de grasas, las cuales al ser menos densas que 							

<p>el agua flotan y quedan atrapadas en una cámara por donde el agua pasa por la parte inferior de una pantalla, de esta manera el agua sale sin partículas de grasa.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tanque biodigestor: Es un tanque de Polietileno (plástico) herméticamente cerrado, donde la materia orgánica contenida en el estiércol de ganado vacuno, cerdos y aves, así como otros desechos orgánicos, se fermentan por medio de bacterias y microorganismos anaerobios, transformándose en BIOGAS y BIOABONO, elementos de gran utilidad, que contribuyen a obtener importantes beneficios ambientales y económicos. 				
6. Lugar de aplicación				
Área de influencia antrópica sobre el río Subia donde se susciten acciones de contaminación				
7. Responsable de ejecución				
Administradores de la industria avícola				
8. Seguimiento				
<ul style="list-style-type: none"> • Análisis periódico de parámetros fisicoquímicos al agua residual de la industria avícola generada. • Revisión de cumplimiento de los límites máximos permisibles de la normativa legal aplicable. 				
Indicador	Descripción del indicador	Tipo de indicador	Periodicidad de evaluación	Registro de cumplimiento
% de remoción de carga contaminante	((Concentración del parámetro antes del sistema de tratamiento – concentración del parámetro después del sistema de tratamiento)*100)/(concentración del parámetro antes del sistema de tratamiento)	Cuantitativo	Al poner en marcha el sistema de tratamiento y cada vez que se le realice mantenimiento	Informes de laboratorio

VERTIMIENTOS DOMÉSTICOS EN CASAS VEREDALES				
1. Objetivo				
<ul style="list-style-type: none"> • Implementar las medidas de manejo ambiental que permitan disminuir los caudales de aguas de tipo doméstico aportantes a cuerpos de agua. 				
2. Meta				
<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la calidad de agua vertida al río Subia 				

3. Impactos Potenciales							
<ul style="list-style-type: none"> • Sobrecostos en los sistemas de tratamiento. • Aumento de las cargas aportantes a cuerpos de agua y o sistemas de alcantarillado • Alteración en la calidad del agua. • Afectación áreas sensibles ambientales. • Afectación fauna acuática. 							
4. Tipo de medida							
Control	X	Prevención		Mitigación	X	Compensación	
5. Acciones a ejecutar							
<p>Implementar sistemas de tratamiento de agua residual doméstica para la población del área rural, teniendo en cuenta la inviabilidad de implementación de un alcantarillado, por tal motivo, el sistema de tratamiento propuesto se enfocará en la reducción de carga contaminante por predio, teniendo en cuenta el Título J del RAS “Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural”, mediante la aplicación de sistemas que impliquen el menor costo y fácil mantenimiento, entre los principales sistemas de tratamiento encontramos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pozo séptico: también denominado tanque séptico, un sistema de tratamiento individual que almacena por cierta cantidad de tiempo determinado las aguas residuales domésticas, el principio de funcionamiento combina la sedimentación y la digestión de anaerobia de lodos, sin embargo, algunas variaciones de diseño pueden incluir la separación de grasas. • Letrina: Son estructuras que se construyen como una propuesta integral para el manejo y disposición de la orina y las excretas bajo el enfoque del saneamiento ecológico, con la finalidad de proteger la salud pública y evitar la contaminación del suelo, aire y agua. El diseño de la letrina depende de las condiciones intrínsecas del área de implementación y existen diferentes variaciones para responder a las necesidades de las partes interesadas, sin embargo, es uno de los sistemas con mayor viabilidad económica en el sector rural para predios independientes, debido a sus bajos costos de implementación y fácil mantenimiento. 							
6. Lugar de aplicación							
Área de influencia antrópica sobre el río Subia donde se susciten acciones de contaminación							
7. Responsable de ejecución							
Propietarios de las viviendas							
8. Seguimiento							
<ul style="list-style-type: none"> • Se realizará la medición a través del volumen que se deja de verter directamente al río Subia 							

Indicador	Descripción del indicador	Tipo de indicador	Periodicidad de evaluación	Registro de cumplimiento
% de volumen no vertido	(Volumen vertido antes de la implementación del sistema – Volumen vertido después de la implementación del sistema)*100)/(Volumen vertido antes de la implementación del sistema)	Cuantitativo	Anual	Informe de vertimiento

VERTIMIENTOS EN INDUSTRIAS LADRILLERAS							
1. Objetivo							
<ul style="list-style-type: none"> Establecer las medidas de manejo ambiental para el manejo de insumos y explotación de materiales 							
2. Meta							
<ul style="list-style-type: none"> Mejorar la calidad de agua vertida al río Subia Implementar medidas de compensación por las actividades de explotación de materiales cerca del río Subia 							
3. Impactos Potenciales							
<ul style="list-style-type: none"> Arrastre de sedimentos de material resultante de la actividad productiva al río Subia Contaminación de aguas y suelos Emisión de material particulado Degradación paisajística 							
4. Tipo de medida							
Control	X	Prevención		Mitigación	X	Compensación	X
5. Acciones a ejecutar							
<p>Capacitación a la población aledaña.</p> <p>Implementación de sistemas de tratamiento para el agua residual generado</p> <ul style="list-style-type: none"> Rejillas de cribado: Su principal objetivo es retener objetos de gran tamaño llevados por el efluente (trapos, toallas sanitarias, pañales, envases de plástico, hojas de árbol, etc.). Se debe realizar un mantenimiento periódico a estas estructuras Sedimentadores: Es el proceso por el cual se depositan o precipitan los materiales transportados por distintos agentes y procedentes de la erosión y la meteorización de las rocas, pasando a ser sedimento. Procesos de coagulación y floculación: son procesos encaminados a eliminar la fracción coloidal que se encuentra presente en aguas destinadas al abastecimiento público y aguas industriales de fabricación. 							

6. Lugar de aplicación
Área de influencia antrópica sobre el río Subia donde se susciten acciones de contaminación
7. Responsable de ejecución
Industria Ladrillera
8. Seguimiento
<ul style="list-style-type: none"> • Análisis periódico de parámetros físico al agua residual generada • Revisión de cumplimiento de los límites máximos permisibles de la normativa legal aplicable

CAMPAÑAS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL A PRODUCTORES AGROPECUARIOS						
1. Objetivo						
<ul style="list-style-type: none"> • Capacitar la población en la implementación de buenas prácticas ambientales dentro de sus procesos productivos. 						
2. Meta						
<ul style="list-style-type: none"> • Mejoramiento de la calidad del agua residual resultante de los procesos de riego por procesos de filtración 						
3. Impactos Potenciales						
<ul style="list-style-type: none"> • Alteración en la calidad del agua. • Afectación áreas sensibles ambientales. • Afectación fauna acuática. • Contaminación de suelos por filtración • Generación de malos olores por la utilización de insumos químicos no amigables con el medio ambiente. 						
4. Tipo de medida						
Control		Prevención	X	Mitigación		Compensación
5. Acciones a ejecutar						
<p>Generar espacios de educación ambiental en la comunidad subyacente, enfocados en la capacitación de buenas prácticas con aquellos productores agropecuarios que se encuentren en el área de influencia del río Subia, cuyo desarrollo de actividades productivas puedan generar impactos negativos sobre la calidad del agua del río Subia. Dentro de los principales temas que se pueden abordar en estos espacios son:</p>						

<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilización acerca de la calidad del agua del río Subia y su impacto en la comunidad • Sustitución de insumos utilizados para los procedimientos de riego (insecticidas, fungicidas, herbicidas y plaguicidas) por otros que causen un menor impacto al medio ambiente. • Implementación de sistema de agroforestales como estrategia de preservación. • Implementación de sistemas de canalización del agua residual producto del procedimiento de riego, para disminuir la carga contaminante que llega por procesos de escorrentía. • Implementación de sistemas de tratamiento de agua residual. • Disposición adecuada de residuos sólidos. 				
6. Lugar de aplicación				
Área de influencia antrópica sobre el río Subia donde se susciten procesos agropecuarios.				
7. Responsable de ejecución				
Autoridades locales y ambientales.				
8. Seguimiento				
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar registro de las campañas realizadas. • General información documentada sobre las campañas realizadas, con el tema tratado, participantes, fechas, etc... 				
Indicador	Descripción del indicador	Tipo de indicador	Periodicidad de evaluación	Registro de cumplimiento
% Campañas realizadas	((Campañas propuestas a realizarse inicialmente – Campañas realizadas en el año)*100)/(Campañas propuestas a realizarse inicialmente)	Cuantitativo	Anual	Bitácora de asistencia

A pesar de que el agua del río Subia se encuentra en los rangos de tratabilidad, el estado actual de la calidad de agua, principalmente relacionado a la concentración de coliformes termotolerantes, limita algunos usos con potencialidad de crecimiento económico, por tal motivo se establecen estrategias y actividades de prevención, control y mitigación que permitan disminuir la concentración de la carga contaminante, de esta manera se reducen los costos asociados a la tratabilidad e incrementa las potencialidades de uso, ya que permite el

aprovechamiento directo del recurso hídrico, esencialmente para aquellos pobladores que no poseen los recursos económicos para implementar un sistema de tratamiento, permitiendo su uso en aquellos procesos productivos que no requieren uno. Con la implementación de estas estrategias, se busca el cumplimiento a la normatividad legal vigente, el mejoramiento de la calidad del agua del efluente y salvaguardar la salud pública y el bienestar de los pobladores que hacen uso de este recurso.

9. Conclusiones

- Debido a que en la zona se hace aprovechamiento directo del río Subia, el parámetro de coliformes fecales es el que más toma importancia en el estudio, esto se debe a que durante los 2 muestreos se evidencian concentraciones que están muy por encima del límite máximo permisible, el cual se establece en el decreto 1594 de 1984 para agua destinada al consumo humano, uso doméstico, actividades de contacto directo o cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara u hortalizas de tallo corto. Actualmente en el río Subia, varias familias realizan un aprovechamiento con desconocimiento del estado actual de la calidad del agua, aunque algunos de ellos realizan un tratamiento convencional en sus acueductos Veredales, estos sistemas no se garantizan la completa remoción de estos coliformes termotolerantes debido a sus altas concentraciones, se evidenció que varios de ellos lo usan para el riego de sus cultivos directamente, contaminando productos que son para consumo diario, abastecimiento local y exportación.
- La aplicación de las metodologías ICA-NSF e ISQA constituyen una herramienta útil para la evaluación de la calidad del agua al tener en cuenta diferentes parámetros, debido a que se obtiene una visión más amplia del estado actual del río y se facilita el registro de los resultados para su posterior seguimiento. Sin embargo, la aplicación de manera individual de estos índices emiten una información que se queda corta en su concepto, ya que el ICA-NSF se dimensiona solo en rangos de calidad, sin aportar mucha información para su posible uso, mientras que el ISQA si bien indica sus posibles usos, no contempla la dimensión microbiológica, emitiendo un resultado posiblemente erróneo como lo fue para el área objeto de estudio, ya que en el concepto emitido se establecían solo tratamientos convencionales, pero al evaluar la concentración de coliformes termotolerantes, es necesaria la implementación de

tratamientos específicos, que eliminen el contenido de organismos potencialmente patógenos y cumpla con la normatividad vigente para el consumo, uso doméstico, riego o actividades de contacto directo.

- El componente más afectado por la intervención antrópica es el de fauna y flora, ya que las actividades económicas de la zona (agricultura y ganadería) promueven acciones de deforestación y fragmentación del ecosistema, de igual forma estas actividades al no realizarse de manera correcta, contaminan otros factores por uso inadecuado de químicos que finalmente hacen una contaminación difusa por acción de escorrentía e infiltración. El segundo componente más afectado es el del agua, principalmente por las actividades relacionadas al manejo de aguas residuales, esto se debe principalmente a la carencia de tratamientos previos al vertimiento directo en el río Subia, estas acciones generan aumentos en las concentraciones de los parámetros analizados principalmente en la de coliformes fecales, el cual puede acarrear graves problemas de salud pública en el área objeto de estudio.
- Los resultados obtenidos permiten apreciar la necesidad de implementar estrategias para el cuidado y preservación del río Subia a lo largo de su cauce, pues a medida que el tramo avanza, la calidad del agua disminuye al aumentarse las concentraciones de los contaminantes, de esta manera, se restringe poco a poco las potencialidades de uso para aquellos usuarios que se encuentran aguas abajo, actualmente, se encuentran varias familias haciendo aprovechamiento directo, exponiéndose a condiciones de insalubridad que pueden comprometer su salud, por tanto se hace necesaria la intervención de autoridades locales y ambientales que tomen las medidas necesarias, para garantizar el bienestar de la comunidad adyacente.
- Teniendo en cuenta las afectaciones que pueden causar algunas de las actividades productivas y domésticas, desarrolladas en la zona, el diseño de estrategias

representado a través de las fichas ambientales, contribuirán con la mejora de la calidad de los vertimientos producidos por los diferentes factores, beneficiando el cuerpo de agua superficial del tramo estudiado y a la población aledaña.

9. Recomendaciones

- Realizar una caracterización de la calidad del agua en época de estiaje en las estaciones de muestreo propuestas, para evaluar el comportamiento de los contaminantes y las concentraciones de los parámetros evaluados con condiciones hidrodinámicas diferentes.
- Consolidar más estaciones de muestreo en el río Subia a lo largo del área objeto de estudio y en el municipio, que permitan caracterizar el comportamiento de la calidad del agua a lo largo del efluente.

10. Referencias

- Departamento Nacional de Planeación,. (2018). *Resumen Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2018-2022*. Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>
- Ajcabul Raxhón, A. O. (Octubre de 2016). *Análisis comparativo entre el índice simplificado de calidad del agua (ISQA) y el índice de calidad del agua (ICA), aplicados al monitoreo de aguas superficiales en el río la quebrada, el frutal*. Guatemala. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/80748636.pdf>
- Bester, K. (2007). Personal care Compounds in the Environment: Pathways, Fate and Methods for Determination. En *Pathways, Fate and Methods for determination* (págs. 297-305). Alemania: Wiley VCH. Obtenido de *Pathways, Fate and Methods for determination*.
- Bolaños Alfaro, J. D., Cordero Castro, G., & Segura Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Tecnología en Marcha.*, 15-27. doi:10.18845/tm.v30i4.3408
- Candela, L. (2007). Contaminación de las aguas subterráneas: tipo doméstico e industrial. En *Departamento de Ingeniería del Terreno y Geociencias*. (págs. 85-89). Obtenido de Departamento de Ingeniería del Terreno y Geociencias. .
- CAR. (2003). *Delimitación y Localización de la Subcuenca Río Alto Sumapaz*. Obtenido de Informe POMCA-002 UT: <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ac68e4163931.pdf>
- CAR. (2007). *La Participación Ciudadana y el Medio Ambiente: Una relación que debe cambiar*. Obtenido de <https://www.car.gov.co/uploads/files/5ace3996e03dc.pdf>

CAR. (2018). *Río Bogotá*. Obtenido de Qué genera la contaminación del río:

https://www.car.gov.co/rio_bogota/vercontenido/5#:~:text=QU%C3%89%20GENERA%20LA%20CONTAMINACI%C3%93N%20DEL%20R%C3%8DO&text=La%20falta%20de%20plantas%20de,miner%C3%ADa%20extractiva%20y%20los%20escombros.

Centro de Investigaciones en Hidroinformática. (2007). *Informe final 111 presentado al IDEAM*.

Obtenido de

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/020735/Informe%20Final/INFORME%20FINAL%20IDEAM.pdf>

Cevallos, R. U. (2002). *Estudio de la calidad de agua, sedimentos y organismos del ecosistema circundante al balneario la playita en el estero salado (estero cobina)*. Obtenido de

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/767/2/TESIS%20Q.F.%20RICARDO%20URETA%20-%20SEGUNADA%20PARTE.pdf>

Climate Data. (s.f.). *CLIMATE-DATA.ORG*. Obtenido de Sylvania Clima: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cundinamarca/sylvania-49844/>

CORTOLIMA. (2011). *Diagnostico de Calidad del Agua* . Obtenido de Centro de Documentos :

https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_amoya/diagnostico/l211.pdf

DAGMA-UNIVALLE. (2009). *Informe final: "Identificación de los responsables por vertimientos,*

captaciones de agua, riesgos y vulnerabilidad en el río Lilí, la quebrada Gualí y el Zanjón del Burro, en el área urbana de Santiago de Cali". Cali. Obtenido de

"Identificación de los responsables por vertimientos, captaciones de agua, riesgos y vulnerabilidad en el río Lilí, la quebrada Gualí y el Zanjón del Burroel área urbana de Santiago de Cali.

- Daughton, C. G. (2004). Non-regulated water contaminants: emerging research. En *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 24, págs. 711-732). Las Vegas, USA: Elsevier Inc. doi:10.1016/j.eiar.2004.06.003
- Environmental Protection Agency. (2014). *Expert Workshop: Nutrient Enrichment Indicators in Streams*. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-09/documents/indicatorsworkshop.pdf>
- Esteves, F. d. (1998). *Fundamentos de limnología* (2 ed.). Rio de Janeiro. Obtenido de Fundamentos de limnologia.
- FIODM. (2012). *Informe Final*. Obtenido de Estudio de la calidad d fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurimac y Cusco: <https://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
- GreenFacts. (2009). *Recursos Hídricos. Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. 1, 2.
- IDEAM. (12 de Septiembre de 2006). Obtenido de Conductividad eléctrica en cuerpos de agua por el método electrometrico.: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>
- IDEAM. (25 de Agosto de 2007). *Determinación de Coliformes totales y E. Coli de aguas mediante la técnica de sustrato definido, colilert por el método de Numero Más Probable*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+agua+NMP+M%C3%A9todo+Colilert.pdf/463a6c8d-122c-4f75-8572-81bd64baa2d2>

IDEAM. (09 de Octubre de 2007). *Instructivo para la toma de muestras de agua residuales.*

Obtenido de

http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38158/Toma_Muestras_AguasResiduales.pdf/f5baddf0-7d86-4598-bebd-0e123479d428

IDEAM. (15 de junio de 2007). *Turbiedad por nefelometría (Método B).* Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

IDEAM. (Julio de 2013). *Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría.*

Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno..pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>

IDEAM. (2021). Seguimiento al ciclo Enos, El Niño-Oscilación del Sur. *Boletín No. 152.*

IDEAM, PNUD, Bogotá, A. d., Cundinamarca, G. d., CAR, Corpoguavio, . . . DNP. (2014).

Evolución de precipitación y temperatura durante los fenómenos El Niño y La Niña en Bogotá - Cundinamarca. *Plan Regional Integral de Cambio Climático para Bogotá Cundinamarca (PRICC).*

Instituto Nacional de Salud. (2011). *Programa de Vigilancia por Laboratorio de la Calidad de Agua.* Obtenido de Manual de instrucciones para la toma, presevación y transporte de muetsras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio:

<https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>

Jaya Cabrera, F. E. (2017). Estudio de los sólidos suspendidos en el agua del río Tabacay y su vinculación con la cobertura vegetal y usos del suelo en la microcuenca. Ecuador.

Obtenido de

<https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28542/1/Trabajo%20de%20titulacion%20n.pdf>

Jimenez, M. A., & Vélez, M. V. (2006). *Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial*. Obtenido de Repositorio Universidad Nacional:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/arh/article/viewFile/9331/9974>

Jimenez, N. T. (2015). *Determinación de un índice global de autodepuración para ríos de montaña a partir de calidad de agua y características hidro-topográficas*. Obtenido de Oxígeno Disuelto (ppm):

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/24278/1/Determinacion%20de%20un%20indice%20global%20de%20autodepuracion%20para%20rios%20de%20monta%C3%B1a.pdf>

Martínez, C. A., & Arias, D. A. (2018). *Evaluación de factores que inciden en la calidad del agua potable del municipio de Silvania- Cundinamarca*. Obtenido de Repositorio

Universidad Católica:

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23903/1/PROYECTO%20DE%20GRADO%20VERSION%20FINAL.pdf>

- Méndez, R., San Pedro, L., Castillo, E., & Vázquez, E. (2010). Modelación del tiempo de conservación de muestras biológicas de agua. *Scielo*,
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992010000400007.
- Mora, J., & Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 23(5), 34-40.
- Mora, J., & Calvo, G. (2010). Estado actual de contaminación con coliformes fecales de los cuerpos de agua de la Península de Osa. *Tecnología en Marcha*, 23, 34-40. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4835746.pdf>
- Naranjo Agudelo, D. C. (2019). *Tesis de Ingeniería Ambiental*. Obtenido de Repositorio Universidad de los Andes:
[https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44484/u830600.pdf?sequence=1#:~:text=No%20obstante%2C%20se%20han%20encontrado,cerca%20de%20las%20bocatomas%20\(Withers%2C](https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44484/u830600.pdf?sequence=1#:~:text=No%20obstante%2C%20se%20han%20encontrado,cerca%20de%20las%20bocatomas%20(Withers%2C)
- Ongley, E. D. (1996). *Control of water Pollution from agriculture*. Burlington, Canadá: FAO.
- Pastran, M. S. (2017). *Estudio de caso en el Río Suárez (Chiquinquirá - Boyacá)*. Obtenido de Evaluación de la calidad del agua mediante la utilización de macro invertebrados bentónicos, como bioindicadores:
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/111180/EVALUACION%20DE%20LA%20CALIDAD%20DEL%20AGUA%20MEDIANTE%20LA%20UTILIZACION%20DE%20MACRO%20INVERTEBRADOS%20BENTONICOS%20COMO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Peña Pulla, E. (26 de Junio de 2017). *Calidad de agua, Trabajo de investigación oxígeno disuelto (OD)*. Obtenido de

<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>

Pérez, M., Peña, M., & Álvarez, P. (2011). Análisis Crítico en el contexto de la política de agro combustibles en Colombia. *Agro Industria cañera y uso del agua*.

Ramos Soberanis, A. N. (Noviembre de 2004). Metodologías matriciales de evaluación ambiental para países en desarrollo: matriz de Leopold y método Mel-enel. Guatemala.

Roldan perez, G. A. (Junio de 2003). Bioindicación de la calidad de agua en Colombia. Uso del metodo BMWP/Col. *Ciencia y tecnología*, 9.

Rosabal, Y., Chang, L., Perez, N., & Morales, J. (2012). Evaluación de la demanda química de oxígeno en aguas de la provincia de Granma, Cuba. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 8, 15-20.

Sabogal, J. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal*. Obtenido de Juntos por Sylvania 2016- 2019:

<http://www.sylvania->

[cundinamarca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/PDM%20Sylvania.pdf](http://www.sylvania-cundinamarca.gov.co/Transparencia/BancoDocumentos/PDM%20Sylvania.pdf)

Solano Arce, M. (2011). *Proyecto de graduación para optar por el grado de licenciatura en manejo de recursos hídricos*. Obtenido de "Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo":

<https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Impacto%20ambiental%20por%20aguas%20residuales%20y%20residuos%20s%C3%B3lidos%20en%20la%20calidad%20del%20agua.pdf>

- Tamayo, O., & Cuartas, J. (2018). *Evaluación Ambiental del Vertimiento*. Obtenido de Ecopark "El Borondo": <http://cvc.gov.co/sites/default/files/2019-04/ESTUDIOS%20TECNICOS%20PERMISO%20DE%20VERTIMIENTOS%20ECO%20PARK%20EL%20BORONDO-18-223.pdf>
- Torres, P., Cruz, C. H., & Patiño, P. J. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano, una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 80-94.
- Vargas Meneses, C. (Enero de 2010). *Ánàlisis de bacterias comunes en plantas de tratamientos diferentes efluentes que son indicadores de alta eficiencia en remoción de contaminantes*. Obtenido de <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/3225/1/31602.pdf>
- Weather Spark. (2016). *El clima promedio en Sylvania Colombia*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/23346/Clima-promedio-en-Sylvania-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- WHO. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Obtenido de World Health Organization: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

11. Anexos

Anexo 1 Evidencias fotográficas de trabajo de campo

Anexo 2 Mapa de ubicación espacial del municipio de Silvania y el Río Subia y Mapa de ubicación espacial de los puntos de muestreo designados

Anexo 3 Matriz de Impacto Ambiental

Anexo 4 Resultados de Laboratorio (Vereda Subia Delicia)

Anexo 5 Resultados de Laboratorio (Vereda Vergel)

Anexo 6 Resultados de Laboratorio (Vereda Azafranal)