

**Evaluación y seguimiento a la afectación de la cuenca del río cauca, por vertimientos de
aguas residuales domésticas provenientes de los sectores urbanos del Municipio de
Popayán.**



Ana Belén Trochez Obando

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible
Programa de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento
Popayán – Cauca
2025

Evaluación y seguimiento a la afectación de la cuenca del río cauca, por vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de los sectores urbanos del Municipio de Popayán.



Ana Belén Trochez Obando

Trabajod de Grado modalidad Pasantía para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director

Juan Pablo Prado Medina

Corporación Universitaria Autónoma del Cauca
Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible
Programa de Ingeniería Ambiental y de Saneamiento
Popayán – Cauca

2025

Nota de Aceptación

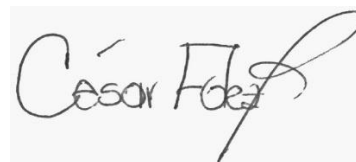
Una vez revisado y aprobado el documento final del trabajo de grado titulado *Evaluación y seguimiento a la afectación de la cuenca del río cauca, por vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de los sectores urbanos del Municipio de Popayán.*; realizado por la(el) estudiante Ana Belén Trochez Obando, se autoriza para optar el título de profesional en(de) Ingeniero Ambiental y Sanitario en la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.



Director.
Juan Pablo Prado Medina



Jurado.
Arnold Arias



Jurado.
Cesar Fernández

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi refugio en cada paso de este camino académico.

A mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Gracias por ser el motor que me impulsa cada día.

A mi pareja, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y su compañía firme, que me sostuvo cuando las fuerzas flaqueaban.

A mis docentes y compañeros, por cada enseñanza, por los retos compartidos y por los aprendizajes contruidos juntos en este viaje universitario.

Y especialmente, a mí misma, Ana Belén Troches Obando, por no rendirme, por levantarme cada vez que caí, y por haber tenido el coraje de seguir adelante hasta alcanzar este logro.

Con gratitud, dedicación y esperanza por un futuro mejor, entrego este trabajo como símbolo del compromiso que tengo con el cuidado de nuestro planeta.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de este trabajo de grado y, en general, la culminación de esta etapa tan importante de mi vida.

A Dios, por concederme la fuerza, la salud y la sabiduría para superar cada reto del camino.

A mi familia, mi pareja y en especial a mis padres, por su amor, paciencia y apoyo incondicional. Gracias por ser mi inspiración diaria y por enseñarme el valor del esfuerzo y la constancia.

A mis docentes y asesores, por compartir sus conocimientos, por su orientación académica y por motivarme a ir siempre más allá. Su guía fue fundamental para la construcción de este proyecto.

A mis compañeros de carrera, por cada momento compartido, por el trabajo en equipo y por ser parte esencial de esta experiencia universitaria.

A la institución que me acogió como estudiante, por brindarme las herramientas y el espacio para formarme como profesional y como ser humano comprometido con el ambiente y la sociedad.

Este logro no es solo mío, sino de todos aquellos que creyeron en mí y caminaron a mi lado en este proceso. A cada uno, mi más profundo agradecimiento.

Contenido

Resumen.....	11
Abstract	12
Introducción	13
Capítulo 1: Problema de Investigación	15
Planteamiento del Problema	15
1.1. Justificación.....	16
1.2. Objetivos	19
1.2.1. Objetivo General	19
1.2.2. Objetivos Específicos.....	19
Capítulo 2: Estado del Arte	20
2.1. Antecedentes	20
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes Nacionales	21
2.1.3. Antecedentes Locales.....	21
2.2. Marco Conceptual o Teórico	22
2.2.1. Aguas Residuales	22
2.2.2. Contaminación del Agua.....	22
2.2.3. Vertimiento de aguas residuales.....	22
2.2.4. Fuentes de contaminación antropogénica	23
2.2.5. Contaminación por materia orgánica	23
2.2.6. Contaminantes en consideración en las aguas residuales	23
2.2.7. Índice de la calidad del agua (ICA)	24
2.2.8. Evaluación del impacto ambiental	24
2.3 Marco Legal	25
Capítulo 3: Metodología	26
Fase 1. Diagnostico de la situación actual de los vertimientos de origen doméstico en el río Cauca, de los sectores urbanos del municipio de Popayán.	26
Actividad 1. Análisis y recolección de la información bibliográfica.....	28
Actividad 1.2. Evaluación de la calidad del agua.	29

Fase 2 Cálculo del índice de calidad del agua (ICA) para los 6 puntos de vertimiento que desembocan directamente en el río Cauca en el municipio de Popayán.	29
Actividad 1. Tabulación y organización de Resultados.	29
Actividad 2. Calculo del ICA	30
Actividad 3 Análisis gráfico y comparativo	31
Fase 3. Formular estrategias para la mitigación de los vertimientos de aguas domésticas en la cuenca del río Cauca del municipio de Popayán, con el fin de minimizar los impactos generados por el desarrollo de la actividad en el cuerpo receptor.....	31
Actividad 1. Analizar las variables para la formulación de estrategias de mitigación.	31
Actividad 2. Diseño de estrategias de mitigación.	32
Capítulo 4: Resultados y Discusión	32
4.1. Diagnosticar la situación actual de los vertimientos de origen doméstico en el río Cauca, de los sectores urbanos del municipio de Popayán.....	32
4.2. Calidad Fisicoquímica del Recurso Hídrico del Río Cauca en el Área Urbana de Popayán	36
4.2.1 pH	36
4.2.2 La temperatura del agua.....	39
4.2.3. Sólidos sedimentables.....	40
4.2.4 Caudal	42
4.2.5. Materia orgánica – DBO5 y DQO	43
4.2.6. DQO.....	47
4.2.7. Sólidos Suspendidos Totales SST	49
5. Calcular el índice de calidad del agua (ICA) para los 6 puntos de vertimiento que desembocan directamente en el río Cauca en el municipio de Popayán	51
5.1 Índice de Calidad del Agua (ICA)	51
6. Formular estrategias para la mitigación de los vertimientos de aguas domésticas en la cuenca del río Cauca del municipio de Popayán, con el fin de minimizar los impactos generados por el desarrollo de la actividad en el cuerpo receptor.....	79
7 Conclusiones y Recomendaciones	85
7.1 Conclusiones	85
7.2 Recomendaciones.....	86

8. Referencias Bibliográficas	87
-------------------------------------	----

Lista de Tablas

Tabla 1	24
Tabla 2	25
Tabla 3	33
Tabla 4	34
Tabla 5	36
Tabla 6	52
Tabla 7	53
Tabla 8	57
Tabla 9	61
Tabla 10	65
Tabla 11	69
Tabla 12	73

Lista de Figuras

Figura 1	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3	37
Figura 4	39
Figura 5	41
Figura 6	42
Figura 7	44
Figura 8	47
Figura 9	49
Figura 10	55
Figura 11	59
Figura 12	63
Figura 13	67
Figura 14	71
Figura 15	75
Figura 16	76

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo, realizar un diagnóstico sobre las afectaciones generadas por aguas residuales domésticas, provenientes de las descargas directas e indirectas de los sectores urbanos del municipio de Popayán a la cuenca del río Cauca, del mismo modo, se pretende evaluar que el vertimiento de este tipo de aguas. Metodológicamente esta problemática se aborda en tres fases, la primera consiste en realizar un diagnóstico de la situación actual, la segunda fase, enfocada en el análisis y cuantificación del nivel de afectación a la cuenca del río Cauca, se desarrolló a partir de la información suministrada por la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. y la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). Esta información se enmarca dentro de las obligaciones establecidas en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) del municipio de Popayán, lo que permitió consolidar una base técnica y verificable para la evaluación del impacto generado por 6 puntos de vertimientos domésticos (directos e indirectos) sobre la cuenca del río Cauca, y la tercera en formular . Adicionalmente este trabajo de grado modalidad pasantía se basa en el cálculo de los ICAS de 6 puntos de vertimiento para conocer las diferentes categorías de clasificación del agua, buscando analizar los diferentes puntos de descargas para poder identificar los impactos que esta acción produce, así pues, con los resultados que arrojó el estudio

Por otra parte, se pretende que el documento final, sirva como referencia para futuras investigaciones relacionadas con el tema, además de que pueda generar conciencia y cultura ecológica para el cuidado y conservación de las fuentes hídricas y el medio ambiente.

Palabras clave: ICA, Aguas residuales, contaminación, daño ambiental

Abstract

This work aims to carry out a diagnosis on the effects generated by wastewater, from direct and indirect discharges from the urban sectors of municipalities of Popayan to the Cauca river basin, in the same way, it is intended to evaluate the environmental and ecosystem damage generated by the discharge of this type of water. Methodologically, this problem is addressed in three phases, the first consists of making a diagnosis of the current situation, the second in analyzing and quantifying the level of affectation, and the third in formulating environmental management files. Additionally, this research is based on the ICAS to know the different categories of water classification, seeking to analyze the different discharge points in order to identify the indirect impacts that this action produces, so, with the results of the study, a series of files were prepared, which served as an instrument for the development of environmental education programs. all aimed at having a sustainable development of natural resources.

On the other hand, it is intended that the final document serves as a reference for future research related to the subject, in addition to generating awareness and ecological culture for the care and conservation of water sources and the environment.

Keywords: ICA, Wastewater, pollution, environmental

Introducción

El agua es uno de los recursos fundamentales para cualquier ser vivo, y uno de los compuestos químicos más abundantes en toda la tierra, por lo cual históricamente todas las poblaciones buscan tener cercanía con las fuentes hídricas, del mismo modo, esta proximidad con el recurso ha llevado a que se altere su calidad, por factores antrópicos como el vertimiento de aguas residuales domesticas e industriales, las cuales han generado un daño en el ecosistema terrestre y acuático, destrucción del hábitats y una notable modificación del régimen hídrico entre otras (Cardenas & Luisa, 2019).

Esta compleja situación en cuanto a la calidad del agua de los ríos, ha despertado el interés de los diferentes entes de control y vigilancia, quienes han enfocado sus esfuerzos en identificar claramente, que elementos afectan de manera directa e indirecta, la estructura, composición y dinámica de las fuentes hídricas, por tal motivo se hace indispensable la aplicación de diferentes metodologías, las cuales brinden un diagnóstico del estado actual de las fuentes hídricas, y que a su vez puedan abarcar todos los factores contaminantes.

En los últimos 10 años, el Estudio Nacional del Agua ENA, ha reportado estadísticas puntuales sobre vertimientos de residuos en cuerpos de agua, evidenciando que Colombia descarga aproximadamente 700 toneladas diarias de materia orgánica, donde el porcentaje de aguas tratadas es solo del 48.56% lo cual equivale a 712 sistemas de tratamientos de agua residual construidos en los 1103 municipios del país, esta cifra es alarmante ya que evidencia que se presenta una deficiencia en el tratamiento de este tipo de aguas, lo cual se convierte en un referente para que estas entidades entren a evaluar las condiciones en las cuales se encuentran las microcuencas (Betancur-Vargas et al., 2017).

El departamento del Cauca no es ajeno a esta difícil situación, la mayoría de sus municipios carece de infraestructuras de tratamiento de aguas residuales, debido a que sus acueductos cuentan con un sistema de alcantarillado combinado, el cual vierte directamente las aguas residuales en las fuentes hídricas, motivo por el cual hay un alto impacto ambiental, trayendo consigo, problemas de salud a las comunidades que residen cerca a estas fuentes, en el departamento del cauca la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), es la encargada de velar por el buen uso de los recursos hídricos y naturales, para garantizar una adecuada sostenibilidad ambiental, por tal motivo, se encuentra enfocada en el manejo de esta problemática, debido a que en la cuenta del río Cauca, se vienen presentando constantes vertimientos que están afectando considerablemente la

calidad del agua, su ciclo biogeoquímico y alteraciones negativas a los diferentes ecosistemas de la microcuenca.

Este documento pretende evidenciar la problemática que se presenta en la microcuenca del río Cauca, por el vertimiento inadecuado de las aguas servidas, buscando plantear unas alternativas de solución, las cuales estén encaminadas a generar soluciones efectivas, buscando con ello reducir en un alto grado el impacto ambiental que se está presentando, el cual repercute y afecta directamente la calidad de vida de toda la comunidad en general.

Capítulo 1: Problema de Investigación

Planteamiento del Problema

La cuenca del río Cauca es uno de los recursos hídricos más importantes de nuestro país, debido a su gran contribución en el equilibrio ecológico y la biodiversidad, además de contribuir en la economía y desarrollo de las regiones, sin embargo, el acelerado crecimiento de la población en el municipio de Popayán, han producido una elevada carga de aguas servidas domesticas sobre este recurso, por lo cual este problema genera un impacto ambiental y de salud pública muy preocupante, motivo por el cual se requiere de manera urgente que se realice un análisis profundo, buscando evidenciar las posibles causas y efectos que se puedan producir a mediano y largo plazo (Fúquene et al., 2019).

La problemática central radica, en el inadecuado manejo de las aguas residuales producidas por las comunidades urbanas de estos municipios, los cuales carecen de una infraestructura idónea para el manejo de estas aguas, por lo cual una gran cantidad de residuos líquidos son conducidos a la cuenca del río, alterando la flora y la fauna acuática, el ecosistema y emanando olores que pueden perjudicar la salud humana (Zacarías et al., 2017).

Un efecto directo de este fenómeno, es la contaminación del agua en esta primordial fuente hídrica, debido a que las aguas domesticas servidas contienen patógenos, así como también una amplia variedad de nutrientes en exceso como el fosforo y nitrógeno, además de residuos químicos tóxicos como pesticidas y detergentes entre otros. Esta elevada carga de contaminación produce la utrofización, efecto que reduce en gran medida el oxígeno en el agua, causando la muerte de especies acuáticas como peces y otros organismos. Del mismo modo, es importante mencionar la peligrosidad del contacto humano con este tipo de aguas, debido a que pueden causar enfermedades graves, lo cual se puede convertir en una problemática de salud pública (Franco et al., 2016).

Las políticas públicas ambientales vigentes, no han podido atenuar este impacto, factores como la falta de conciencia ambiental, desinterés político, bajo presupuesto para realizar proyectos enfocados en la conservación y cuidado del agua entre otros, permiten que esta problemática crezca y siga perjudicando gravemente el entorno ambiental, por ende, es de vital importancia que se realice un plan de acción, el cual tenga como objetivo principal la adecuación de plantas de

tratamiento de aguas residuales, buscando fortalecer la normativa ambiental y promoviendo practicas sostenibles.

Asimismo, se puede argumentar que esta problemática no solo va arraigada al ámbito técnico, sino que también al ámbito social, la falta de cultura sanitaria de la población, sobre la importancia de los recursos hídricos y las consecuencias que se pueden presentar por la alta contaminación, son factores que obligan a los entes públicos y privados a tomar cartas en el asunto, enfocando sus esfuerzos a que estas fuentes hídricas sean declaradas como zonas de protección y reserva, permitiendo así, que los entes y autoridades competentes, puedan aplicar la normativa establecida por la ley para la conservación de los mismos (Manrique & Alvaro, 2019).

Por tal motivo, surge la necesidad de llevar a cabo el presente estudio durante el período comprendido entre los años 2020 (año pandémico) y 2023, con el fin de analizar, cuál es el comportamiento que ha tenido el rio Cuaca a lo largo de este tiempo. Permitiendo así evaluar si la carga contaminante ha disminuido o se ha aumentado, de tal manera que se puedan formular una serie de medidas, que busquen prevenir, mitigar y compensar los efectos negativos que se puedan ocasionar sobre el ambiente y la sociedad, con el fin de poder recuperar ciertos aspectos físicos, paisajísticos, ecológicos y bióticos del cuerpo receptor.

1.1. Justificación

Con base en la problemática planteada, se hace necesario realizar una evaluación de la notoria afectación que presenta el rio Cauca, por el inadecuado manejo de los vertimientos de aguas servidas municipales, buscando con ello poder mitigar los impactos negativos en el ambiente y en la fuente hídrica que esto ha generado, resulta importante comentar que con base en la evaluación realizada sobre la afectación de la cuenca del río Cauca, se busca construir una herramienta para la gestión ambiental, con el fin de que pueda ser utilizada por las autoridades encargadas de la protección ambiental y sanitaria, fortaleciendo la aplicación del marco legal establecido, referente a la conservación y cuidado del medio ambiente, y en caso de incumplimiento que se puedan adelantar medidas sancionatorias y cautelares por el daño ambiental causado (Segura et al., 2021).

Por medio de este estudio, se pretende generar herramientas eficaces que puedan dar cumplimiento al decreto 2930 de 2010, usos de agua y vertimientos, las cuales permitan realizar un seguimiento continuo a las solicitudes y demandas enfocadas en la contaminación del recurso

hídrico por los vertimientos de aguas servidas en el municipio de Popayán, sincronizando así los procesos establecidos por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC).

Como la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), está próxima a construirse, es imprescindible que cuente con 4 sectores del sistema de alcantarillado, que estén interconectados, de forma que el caudal de aguas residuales generada por la comunidad pueda tratarse adecuadamente, reduciendo la contaminación del río Cauca.

Así mismo, se destaca la importancia que tiene el río Cauca en su recorrido por el país, ya que permite realizar actividades productivas, las cuales impulsan el desarrollo económico y social de muchas comunidades, su valor trasciende en la conexión directa con la población, ya que, por medio de la pesca, la agricultura, generación eléctrica, explotación minera entre otras, muchas personas se benefician directa e indirectamente, permitiendo que puedan tener un mejor nivel de vida. Por otra parte, estas actividades que benefician a las personas afectan a la fuente hídrica, por el desecho de sustancias que generan y que van a parar directamente al río (Quiroga & Pacheco, 2018).

Por lo anteriormente mencionado, esta problemática implica un trabajo arduo, ya que se debe realizar una transformación del modelo agroindustrial y un cambio educativo, buscando con ello generar conciencia y cultura ambiental, la cual vaya enfocada en el cuidado y preservación de los diferentes ecosistemas, contribuyendo de esta manera a que se pueda tener un eficiente aprovechamiento del recurso hídrico.

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia es uno de los países más ricos en recursos naturales y biodiversidad, y uno de los más privilegiados por contar con una gran reserva de agua, cuyo rendimiento es seis veces superior al resto de los demás países del mundo, y tres veces mayor al de Latinoamérica, del mismo modo, es el país con el 50% de los páramos en el mundo, los cuales son los principales fabricantes de agua (Otero-Durán & Piniero, 2019).

Sin embargo, en las últimas décadas la masa glacial se ha reducido en un 56%, según datos brindados por el ENA, evidenciando que los factores que más afectan el agua son el alto crecimiento poblacional, la interrupción del ciclo natural del agua y el deficiente tratamiento que realizan algunas entidades públicas en cuanto al manejo de aguas servidas¹⁸) de acuerdo con dato IDEAM en el año 2018, en Colombia hay 1.122 municipios, de los cuales 521 utilizan agua sin

tratamiento, representando el 70% de ellos un peligro inminente para la salud, y el otro 21% sanitariamente ineficiente, según el DANE en el año 2020, en términos de cobertura es necesario ampliar el servicio de acueducto debido a que no alcanza a suministrar agua potable a la mayoría de la población.

Con base en estos escenarios mencionados anteriormente, surge la necesidad de Para ello se realiza el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA) y se analizaron únicamente 6 de los 9 puntos de vertimiento identificados en el área urbana del municipio de Popayán. Esta selección se basó en criterios técnicos relacionados con la influencia directa o indirecta de los vertimientos sobre el río Cauca, que es el cuerpo de agua objeto de estudio. Cuatro de los nueve puntos descargan directamente sus aguas residuales al río Cauca, por lo cual fueron incluidos sin restricción en el análisis. Un quinto punto, que vierte al río Ejido, fue considerado debido a que sus aguas terminan desembocando indirectamente en el río Cauca. El sexto punto corresponde al último vertimiento sobre el río Molino, el cual recoge las aguas residuales provenientes de tres puntos previos que también descargan en este afluente. Este último punto (punto #9) es de especial interés, ya que representa el vertimiento final del sistema antes de la confluencia del río Molino con el río Cauca. Por estas razones, los otros tres puntos restantes fueron descartados del análisis directo, al encontrarse aguas arriba del punto de integración ya incluido, evitando así duplicidad en la evaluación.

Esto con el objetivo de evidenciar cual ha sido el comportamiento de la carga contaminante en cada año y en qué condiciones se encuentra cada punto de descarga. Para ello se tendrán en cuenta los valores de los parámetros que exceden las concentraciones establecidas en la resolución 0631 de 2015, y que permiten identificar a su vez los elementos fisicoquímicos y microbiológicos, que de modo directo mejoran o deterioran la calidad del cauce receptor mediante el cálculo del ICA (Urrego & Eulalia, 2016).

Los resultados que se obtendrán con el desarrollo de este proyecto, permitirán conocer el estado actual de la calidad del agua del río Cauca exactamente en el municipio de Popayán, para que a través de las áreas pertinentes y la población en general puedan tomar acciones preventivas y correctivas para la mejora de la gestión y el manejo de los cuerpos de agua dentro de la localidad. Por lo tanto, es importante identificar el nivel de afectación de la fuente hídrica, por la descarga de aguas residuales del casco urbano de ambos municipios, con el fin de establecer las implicaciones en cuanto a calidad relacionadas con dichos vertimientos.

Cabe mencionar que este trabajo de grado más que un requisito, es en definitiva una herramienta técnica que permitirá a la comunidad, a los Municipios y a las Administraciones departamentales, conocer el estado de las redes de acueducto y alcantarillado, predecir el comportamiento de las cargas contaminantes de sus vertimientos y proponer diferentes alternativas de manejo a efecto de que se puedan gestionar con racionalidad y proponer la implementación de los recursos necesarios para contrarrestar o, al menos, mitigar el impacto ambiental de los vertidos sobre los cuerpos hídricos de la zona, propendiendo finalmente por la protección del recurso más valioso de la humanidad y actualmente, uno de los más amenazados, el agua.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la afectación de la cuenca del río Cauca, por vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de los sectores urbanos en el municipio de Popayán para los años 2020 - 2023.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual de los vertimientos de origen doméstico en el río Cauca, de los sectores urbanos del municipio de Popayán.
- Calcular el índice de calidad del agua (ICA) para los 6 puntos de vertimiento que desembocan directamente en el río Cauca en el municipio de Popayán.
- Formular estrategias para la mitigación de los vertimientos de aguas domésticas en la cuenca del río Cauca del municipio de Popayán, con el fin de minimizar los impactos generados por el desarrollo de la actividad en el cuerpo receptor.

Capítulo 2: Estado del Arte

2.1. Antecedentes

A nivel internacional, nacional y local, actualmente existen altos niveles de contaminación en las diferentes fuentes hídricas de cada región, lo cual afecta en gran medida la calidad del agua que es empleada en diferentes actividades, por otra parte, con los avances tecnológicos y con la puesta en marcha de los gobiernos por realizar actividades sostenibles, se han implementado diferentes herramientas ambientales, las cuales disminuyen el impacto ambiental y mejoran en gran medida la calidad del agua, a continuación se colocan a consideración diferentes evaluaciones sobre el manejo adecuado de aguas servidas en diferentes poblaciones.

2.1.1. Antecedentes Internacionales

A nivel internacional, en Cuba en el año 2005 se presentó una problemática ambiental por el indiscriminado vertimiento de agua servidas, derivadas de una mina y de comunidades aledañas, sobre el río Cobre ubicado en la provincia de Santiago, por lo cual estos vertimientos generaron un deterioro en el ecosistema hídrico, ante tal problemática se realizó la (EIA), por medio de la implantación de matrices causa - efecto propuestas por Conesa, el estudio logró evidenciar que tras el cierre de la mina, uno de los componentes que más alteraba el ecosistema hídrico eran el vertimiento de residuos industriales, seguido del inadecuado uso de aguas residuales producidas por la actividad humana (Dulcey & Liliana, 2020).

En el año 2012 en el Perú, exactamente en el lago Titicaca, se evidenció la presencia de innumerables viviendas ubicadas alrededor del lago, las cuales carecen de unidades sanitarias, convirtiéndose esto en un problema de gran envergadura, debido a que los moradores de estas propiedades, realizaban la deposición de sus necesidades a las orillas de la fuente hídrica, por tal motivo se realizó una evaluación y análisis al lago, para determinar el impacto ambiental que dicha situación estaba generando, este estudio se alinea en el contexto físico, geográfico, económico y social de la región, permitiendo generar una serie de estrategias enfocadas en el adecuado uso de aguas residuales, que ayudaron a mejorar las condiciones ambientales de este ecosistema.

En el año 2017, en Ecuador se realizó un estudio en el río Portoviejo de Manabí, para conocer el impacto ambiental que estaba generando el vertimiento de aguas residuales sobre esta fuente hídrica, en esta investigación se tomó como referencia la variación de la concentración de oxígeno, disuelta en los diferentes puntos de vertimiento, para poder conocer como estos desechos

líquidos, afectan la calidad del agua, como resultado se obtuvo que en 20 puntos de descarga, se reduce considerablemente la calidad del líquido, y en especial en la sección C donde hay menor concentración de lo cual reduce significativamente la capacidad de asimilar cargas contaminantes.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el año 2008 en Pasto, se presentó una difícil situación referente al manejo de aguas residuales vertidas en el río Guaitara, debido a que la red de alcantarillado del municipio contaba con sistema combinado, y sus emisores no contaban con un sistema de tratamiento de aguas servidas, que permitía sobrellevar la presión sobre dicho río, por ende, se creó la necesidad de realizar una evaluación del impacto ambiental y ecológico, buscando recopilar información en la primera etapa de diagnóstico de los servicios de acueducto y alcantarillado, presentando detalles puntuales alineados al plan de gestión de residuos y el plan maestro de acueducto y alcantarillado.

En los municipios de Herveo, Casablanca, Palocabildo, Falan y Fresno en el departamento del Tolima se realizó un estudio en el año 2016, con el fin de analizar y evaluar se realiza el procedimiento de descargue de aguas residuales, en el cual se aplicó un modelo matemático en un área de 12 km sobre el río Portoviejo, la instalación de un GPS, el empleo de técnicas de geometría fractal y el tratamiento de imágenes, permitieron determinar que estos municipios no cumplen con los parámetros establecidos en la resolución 0631 de 2015 como DBO 5 y SST, ya que no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas servidas.

En la ciudad de Montería, en el año 2017 se diseñó un estudio con el fin de medir las tasas de desoxigenación y re aireación del río Sinú, para la realización de este estudio era necesario definir las tasas anteriormente mencionadas, por lo cual se utilizó el modelo Streeter y Pherls, logrando de esta manera recopilar datos históricos de 8 años de seguimiento (2000 – 2007), de DBO, Nitrógeno Total, Oxígeno disuelto, Temperatura y Caudal, arrojando como resultado que el recurso hídrico presentaba características de corrientes con índices mínimos de contaminación, por materia orgánica y con una elevada capacidad de auto purificación.

2.1.3. Antecedentes Locales

En la ciudad de Popayán en el año 2017, se realizó un estudio enfocado en la modelación de la calidad del agua del río Molino, empleando los modelos Qual2kw y Streeter & Phelps, arrojando como resultado que después del kilómetro 6 las aguas de esta fuente hídrica están muy por debajo de lo exigido por la normatividad y las autoridades ambientales, obligando a las

autoridades ambientales a realizar planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas (POMCH), con el fin de recuperar y mejorar la calidad del agua .

Del mismo modo, en la ciudad de Popayán se realizó un estudio para medir la afectación del río Cauca, por el vertimiento de aguas residuales de los 9 colectores en un tramo de 6.5 km para el año 2018 y 2019, se utilizó la metodología de la información que soporta el ICA, la cual permite clasificar los diversos cuerpos de agua, además de la matriz causa –efecto de Vicente Conesa, con los resultados obtenidos se crearon una fichas de programas, orientadas a prevenir, mitigar y compensar los impactos ambientales generados por el vertimiento acelerado de aguas negras.

2.2. Marco Conceptual o Teórico

2.2.1. Aguas Residuales: son aquellas aguas provenientes de un sistema de abastecimiento de una comunidad, después de haber sido modificadas por diferentes actividades como las domésticas, industriales y agrícolas, estas aguas contienen material orgánico, donde los microorganismos juegan un papel importante ya que eliminan los compuestos orgánicos mejorando en gran medida su contenido de pureza (Alberto & Faber, 2019).

2.2.2. Contaminación del Agua: Es el proceso mediante el cual el agua, sufre un proceso de transformación en sus características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas, como resultado de las actividades humanas o en algunos casos, por procesos naturales los cuales suelen ser nocivos para los consumidores (De las Mercedes Grijalva Endara et al., 2020).

2.2.3. Vertimiento de aguas residuales: son las aguas degradadas o contaminadas por las actividades humanas, debido a su múltiple utilización en labores domésticas, industriales y de otros orígenes, las cuales son vertidas en un cuerpo de agua, lo cual puede generar un impacto negativo para los ecosistemas si no cuentan con un proceso bien establecido (Inga et al., 2021).

Se ha considerado que uno de los mayores contaminantes del agua son las industrias, las cuales requieren el empleo de agua para sus diferentes procesos productivos, las centrales térmicas por su parte para ser operadas requieren de un gran volumen de agua, estas por su actividad no generan contaminantes orgánicos e inorgánicos en sus residuos líquidos, pero debido a su operación manejan elevadas temperaturas, las cuales conllevan a ocasionar trastornos en el ecosistema acuático, en resumen para mitigar los problemas que se generan por la contaminación de las fuentes hídricas, se hace necesario la aplicación de un sistema de depuración, que permita

devolver al líquido, las características físicas y químicas originales, mejorando su calidad y pureza (José-Bracho et al., 2016).

2.2.4. **Fuentes de contaminación antropogénica:** estas fuentes de contaminación están ligadas con las afectaciones en la calidad y pureza del agua, clasificándose en 2 tipos, las puntuales y no puntuales. Las puntuales son las fuentes de contaminación que se distinguen por sus descargas singulares o escasas, donde los contaminantes se propagan desde una única zona geográfica aislada o confinada. Entre estas fuentes específicas se hallan las siguientes: Efluentes de viviendas, efluentes industriales, actividades con desechos peligrosos, drenaje en minas, derrames y descargas accidentales (Moncada & García, 2019).

Las fuentes no puntuales abarcan fuentes de contaminación dispersas y abarcan actividades que abarcan un área amplia, las cuales pueden provocar la contaminación global del agua subterránea, razón por la cual su control es más complicado que el de las fuentes puntuales. Las fuentes no puntuales se categorizan en las que provienen de: la agricultura y la ganadería, el drenaje urbano, la explotación del suelo, los vertederos, la deposición atmosférica y diversas actividades de ocio (López, 2016).

2.2.5. **Contaminación por materia orgánica:** esta contaminación es el resultado de vertidos urbanos, actividades agrícolas e industriales, la materia orgánica consiste en miles de elementos, como partículas de gran tamaño, coloides o macromoléculas disueltas, capaces de provocar color, olor, sabor, la aparición de microorganismos dañinos o la existencia de material no biodegradable (USEPA 2004). El agua residual contiene principalmente proteínas (40-60 %), carbohidratos (2550 %) y aceites y grasas (10 %).

Una vez las aguas residuales domésticas son vertidas en un cuerpo de agua se considera contaminación por materia orgánica, mediante procesos químicos, cuando el agua contiene oxígeno, se lleva a cabo la descomposición de los compuestos orgánicos, lo que puede resultar tóxico para los organismos vivos (González, 2023).

2.2.6. **Contaminantes en consideración en las aguas residuales:** los contaminantes más considerables en las aguas residuales son (Patógenos, Materia orgánica biodegradable, Sólidos en suspensión y nutrientes), estos contaminantes generan un impacto considerable al ser vertidos en los cuerpos de agua, afectando en gran medida su calidad y las condiciones organolépticas del líquido.

En el caso puntual de las aguas generadas por las comunidades, la carga orgánica es mayor haciéndose notoria su percepción en el proceso de su descomposición, al producir malos olores al tener contacto con el cuerpo de agua, del mismo modo la combinación de aceites, detergentes, residuos sanitarios y vectores alteran la calidad (González, 2023).

2.2.7. Índice de la calidad del agua (ICA): El ICA es una herramienta importante que genera información, sobre la calidad del recurso hídrico a las diferentes autoridades ambientales y a la comunidad en general, además de ser un indicador el cual unifica los parámetros de medición de la calidad del agua. Este índice utiliza fórmulas matemáticas que permiten generar datos reales que permiten diagnosticar la calidad del agua, clasificada como excelente, buena, pobre, muy pobre y no apta (Gil-Marín et al., 2018).

Tabla 1. Escala de Clasificación ICA

RANGO DE CALIDAD (Q)	ESCALA COLOR / INTERPRETACIÓN
91 – 100	Excelente
71 – 90	Buena
51 – 70	Regular
26 – 50	Mala
0 - 25	Muy Mala

Fuente elaboración propia

2.2.8. Evaluación del impacto ambiental: La evaluación de impacto ambiental EIA, permite identificar, evaluar y cuantificar los impactos ambientales generados en el proceso de ejecución de un proyecto, resulta importante determinar los impactos que más afectaciones generan después de la realización de una actividad, el método más empleado para su identificación es la lista de chequeo, junto con las matrices de causa y efecto, con el fin de poder evaluar estos impactos ambientales detectados, se emplean un conjunto de atributos y cualidades (Naturaleza, Intensidad, Persistencia) que facilitan la categorización (reversible, moderado y severo) y la cuantificación de la intensidad del impacto en cada uno de los elementos impactados (Montero-Vega et al., 2020).

2.3 Marco Legal

A continuación de evidencian las disposiciones reglamentarias (normas, resoluciones, leyes y decretos) que rigen la protección de los recursos naturales y componentes ambientales.

Tabla 2. Normatividad ambiental

NORMATIVIDAD	DESCRIPCION
Constitución Política de la República de Colombia de 1991	Esta constitución posicionó al medio ambiente como un componente crucial para el progreso humano, categorizando a la presente Constitución Política de Colombia en sus 33 artículos en relación a la protección y preservación del patrimonio ambiental del país, como una constitución ecológica, y otorgando normas a la formulación de la norma fundamental del componente ambiental: ley general ambiental.
Ley 152 de 1994	Ley Orgánica del Plan de Desarrollo: Plan de Desarrollo Municipal, Consejos territoriales de planeación y formulación del Plan de Ordenamiento Territorial.
Resolución 1096 de 2000	Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento - RAS.
Resolución 0631 de 2015	Norma de vertimientos: permite el control de sustancias contaminantes que llegan a los cuerpos de agua vertidas por 73 actividades presentes en ocho sectores económicos del país
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Decreto 1594 de 1984	Uso del agua y vertimientos
Resolución 1074 de 1997	Se establecen estándares ambientales en materia de vertimientos
Resolución 1558 de 1998	Adopta de conformidad con las disposiciones legales vigentes en materia de vertimientos
Resolución 2650 de 2006	Adopta la aplicación de la tarifa mínima establecida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT- para el cobro de la tasa retributiva por vertimientos puntuales mediante la Resolución 372 de 1998 o las demás Resoluciones que la modifiquen o la sustituyan.

Resolución 3956 de 2009	Establece la norma técnica, para el control y manejo de los vertimientos realizados al recurso hídrico en el perímetro del Distrito Capital; fija los índices, factores, concentraciones o estándares máximos para su vertido
Resolución 631 de 2015	Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir quienes realizan vertimientos puntuales a los cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Fuente: elaboración propia

Capítulo 3: Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo de grado en modalidad de pasantía relacionado con la evaluación y seguimiento a la afectación de la cuenca del río cauca, por vertimientos de aguas residuales domésticas provenientes de los sectores urbanos del Municipio de Popayán se presentará en 3 fases describiendo de forma detallada cada uno de los métodos que fueron utilizados de la siguiente manera:.

1.1 Reconocimiento del área de estudio

El río Cauca es considerado como el segundo río más importante de Colombia, nace en la cercanía de la laguna del Buey en el Macizo Colombiano en el Departamento del Cauca.

En su recorrido entre las cordilleras central y occidental, el río Cuaca pasa por más de 180 municipios en los departamentos de Cauca, Valle del Cauca, Risaralda, Caldas, Antioquia, Sucre y Bolívar, su cuenca hidrográfica es de aproximadamente 63.300 km².

Es un lugar con diversas actividades de tipo productivo como lo es la industria azucarera en el Valle del Cauca, cultivos de café, generación eléctrica, explotación minera y de tipo agrícola, entre sus principales afluentes que se suman al caudal de este importante Río, son el Río Nechí, La Vieja y San Juan .

En la ciudad de Popayán y su área de influencia, se ha identificado el cauce principal del río Cauca desde el sector conocido como puente metálico vereda González, hasta aguas abajo en el puente

que conduce al sector rural conocido como Julumito alcanzando a tener 40m de anchom en promedio en esta área urbana.

En las siguientes figuras se presenta la localización de las principales fuentes hídricas que atraviesan el casco urbano del municipio de Popayán: el río Cauca, el río Molino y el río Ejido. Estos cuerpos de agua representan los principales receptores de vertimientos de aguas residuales domésticas en la ciudad y constituyen un componente fundamental para el análisis ambiental de la zona de estudio. En la Figura 2 se georreferencian los seis puntos de vertimiento seleccionados para el presente trabajo de grado, los cuales fueron escogidos estratégicamente por su relevancia directa o indirecta en la afectación del río Cauca, permitiendo así una evaluación más precisa y representativa del impacto generado sobre este recurso hídrico.



Figura 1. Localización municipio de Popayán y sus fuentes hídricas.

Fuente: Google earth 2025 – Corporación autónoma del cauca CRC

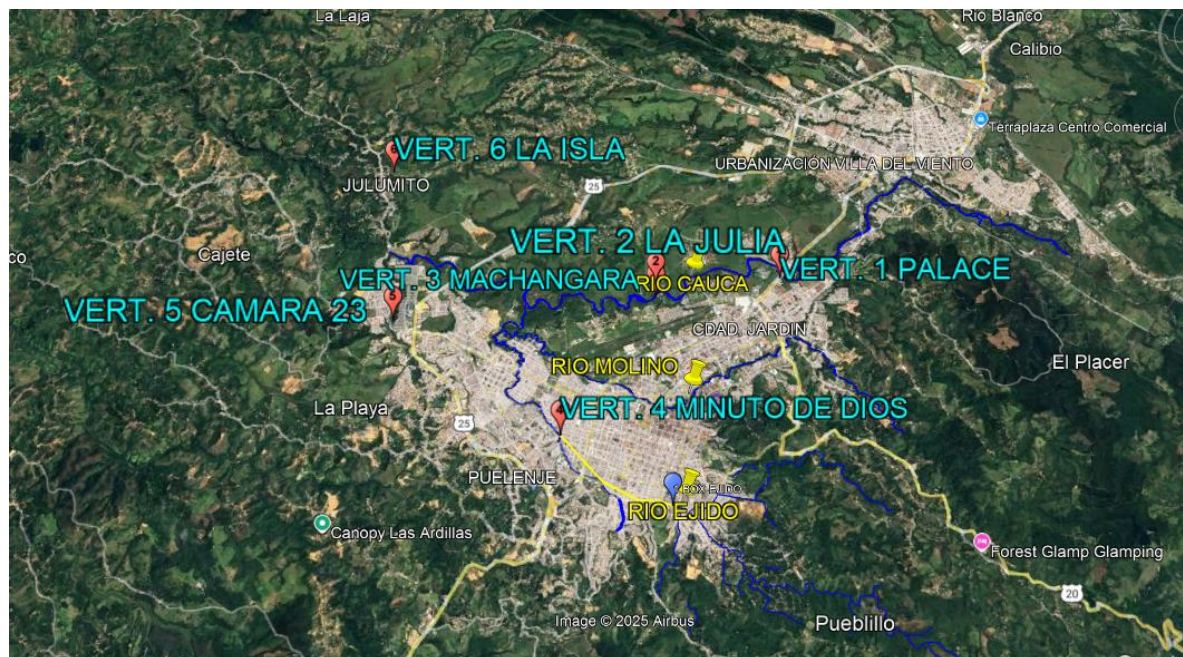


Figura 2. Ubicación de los puntos de vertimientos de aguas residuales domesticas de la ciudad de Popayán.

Fuente5 2.1. Recolección de la información bibliográfica y organización de datos.

Esta está enfocada en el análisis y recolección de datos, se desarrolló a partir de la información suministrada por la empresa Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. y la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). Esta información se enmarca dentro de las obligaciones establecidas en el Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) del municipio de Popayán, el cual contempla que el prestador del servicio debe entregar un reporte anual de caracterización de vertimientos a la autoridad ambiental competente, con el propósito de facilitar el seguimiento y control ambiental. La recopilación de datos se realizó a través de documentos oficiales, archivos físicos y digitales como informes de caracterización, informes de monitoreos a puntos de vertimientos, informes de caracterización de fuentes hídricas y análisis fisicoquímicos de laboratorio, así como mediante medios magnéticos como CDs y memorias que salvaguardaban la información que se plasma en este trabajo de grado, lo que permitió consolidar una base técnica y verificable para la evaluación del impacto generado por 6 puntos de vertimientos domésticos sobre la cuenca del río Cauca.

- Esta información, además de permitir el análisis del comportamiento de los vertimientos, debe ser contrastada con los límites máximos permisibles establecidos en

la Resolución 0631 de 2015, con el fin de analizar y determinar el grado de cumplimiento de la normativa ambiental vigente y el nivel de afectación potencial a los cuerpos hídricos receptores.3.1. Análisis de parámetros fisicoquímicos.

Con el propósito de poder evaluar la calidad del agua en los diferentes puntos de vertimiento los cuales descargan en la fuente hídrica del río Cauca, se realizó una tabla donde se registraron los parámetros en cada uno de los 6 puntos de vertimiento de aguas residuales domésticas de la ciudad de Popayán para los años 2020, 2021, 2022 y 2023 respectivamente, así mismo, se tuvieron en cuenta los valores de referencia establecidos en la r

Una vez registrada la información, se procede a realizar un análisis de cada uno de los parámetros establecidos mediante gráficos que evidencian la tendencia que estos parámetros han mostrado en los periodos analizados y en cada uno de los puntos de descargas de aguas residuales, mediante este tipo de análisis, se puede identificar como algunos parámetros presentan un mejor comportamiento en algunos puntos de descarga, aunque en la mayoría de los puntos en los diferentes años, se presenta una constante en cuanto a los valores analizados, se puede analizar a simple vista que los parámetros se encuentran dentro del promedio normal establecido por la normativa ambiental.

Los parámetros analizados dentro de esta fase son: pH, La temperatura del agua, Sólidos sedimentables, Caudal, Materia orgánica – DBO5 y DQO, Sólidos Suspendidos Totales SST, así pues, se puede indicar que estos parámetros son vitales para poder diagnosticar los impactos ambientales y conocer el estado real del agua, mediante este diagnóstico se identificaron los puntos más críticos de descarga, los niveles de carga contaminante y los parámetros que se salen de la regencia de la normativa ambiental vigente.

Fase 2 Cálculo del índice de calidad del agua (ICA) para los 6 puntos de vertimiento que desembocan directamente en el río Cauca en el municipio de Popayán.

Actividad 2.1 Organización y tabulación de los resultados.

Con base en los informes de laboratorio contratados con el Acueducto y Alcantarillado de Popayán durante los periodos comprendidos entre el 2020 y el 2023, se determinó que la cantidad de parámetros a utilizar para este caso son 8, los cuales se describen a continuación: Oxígeno

disuelto (OD), Coliformes fecales, pH, Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), Temperatura, Nitratos, Fosfatos, Sólidos totales (o conductividad).

Una vez planteados los parámetros y los años a analizar se proceden con la tabulación, de cada uno de los puntos de vertimiento (punto 1 vertimiento Palace, punto 2 vertimiento la Julia, punto 3 vertimiento Machángara, punto 4 vertimiento Minuto de Dios, punto 5 vertimiento Cámara 23, punto 6 vertimiento la Isla), facilitando la interpretación y comparación, esta tabulación permitió preparar la información para el cálculo del índice de Calidad del Agua ICA, asegurando que los datos empleados fueran confiables, completos y comparables en cada uno de los periodos analizados.

Actividad 2.2 Cálculo del ICA

Una vez tabulada toda la información de cada uno de los parámetros en los diferentes años ICACabe la pena resaltar que para el cálculo del ICA se seleccionaron 6 de los 9 puntos de vertimiento identificados en la zona urbana de Popayán, con base en su incidencia directa o indirecta sobre el río Cauca, eje principal del estudio. Cuatro de estos puntos descargan directamente en dicho río, uno vierte al río Ejido cuyas aguas terminan conectando con el Cauca, y el último corresponde al punto final del río Molino, que integra los vertimientos de tres puntos previos antes de desembocar en el Cauca. Los tres puntos restantes fueron excluidos del análisis para evitar que obtuviéramos datos muy similares ya que su impacto ya se encuentra representado en el punto de integración seleccionado.

Como parte de la metodología aplicada para evaluar la calidad del agua en los puntos de vertimiento seleccionados, se empleó la fórmula del **Índice de Calidad del Agua (ICA)** desarrollada por el **Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)**. Esta fórmula permite integrar distintos parámetros fisicoquímicos obtenidos a partir de las caracterizaciones realizadas, con el fin de obtener un valor numérico que refleje el estado del recurso hídrico en términos de calidad. El uso de esta herramienta metodológica facilitó el análisis estandarizado de cada uno de los seis puntos, permitiendo una interpretación comparativa y la identificación del grado de afectación generado por los vertimientos sobre los cuerpos de agua receptores.

favoreciendo la evaluación del cumplimiento normativo con respecto a la calidad del vertimiento. La fórmula para el cálculo es la siguiente:

Mediante el cálculo del ICA se puede clasificar el estado del agua en las diferentes categorías como: Excelente, buena, regular, mala o muy mala facilitando de esta manera la interpretación técnica, del mismo modo, el resultado final de este índice sirve como instrumento para evaluar el impacto que representan los vertimientos sobre la calidad del agua.

Actividad 2.3 Análisis gráfico y comparativo

Una vez calculado el índice de calidad del agua ICA, se realiza un gráfico comparativo, el cual representa los valores obtenidos en los 6 puntos de vertimiento evaluados en los periodos comprendidos entre el 2020 y 2023. Del mismo modo, por medio de gráficos de líneas se evidencia la tendencia del ICA en cada punto, lo cual muestra claramente si se presentaron mejoras o retrocesos en la calidad del agua, esta representación permite realizar una comparación directa de los años analizados, adicionalmente estos gráficos permiten establecer patrones de comportamiento, asociados a posibles factores como el aumento del caudal, mejoras en el tratamiento de aguas residuales y cambios en la carga contaminante, lo cual facilita la interpretación de los resultados y permite evidenciar que puntos requieren ser intervenidos de forma prioritaria.

Fase 3. Formular estrategias para la mitigación de los vertimientos de aguas domésticas en la cuenca del río Cauca del municipio de Popayán, con el fin de minimizar los impactos generados por el desarrollo de la actividad en el cuerpo receptor.

Actividad 3.1. Analizar las variables para la formulación de estrategias de mitigación.

Durante este análisis se pudo establecer las condiciones actuales del agua por medio de parámetros como: pH, DBO, DQO, sólidos suspendidos, caudal y temperatura, al interpretar cada una de estas variables se puede determinar el nivel de afectación ambiental y la carga contaminante, que produce cada uno de los puntos en la fuente hídrica del río Cauca, por lo cual se procede a realizar una serie de estrategias con el fin de mitigar el impacto negativo.

Actividad 3.2. Diseño de estrategias de mitigación.

El diseño de estas estrategias permite mitigar en gran medida el impacto ambiental que produce la carga contaminante que es vertida al recurso hídrico, por medio de estrategias enfocadas en conciencia ambiental, se pretende controlar los impactos negativos sobre la calidad del agua, buscando proteger la biodiversidad acuática, garantizando óptimas condiciones sanitarias para las comunidades cercanas al caudal del río, adicionalmente, estas estrategias serán formuladas, teniendo en cuenta la problemática generada desde el ámbito social, técnico e institucional y su finalidad va alineada a mejorar la calidad del agua, prevenir riesgos de salud pública y buscar el equilibrio del ecosistema acuático.

Capítulo 4: Resultados y Discusión

4.1. Diagnosticar la situación actual de los vertimientos de origen doméstico en el río Cauca, de los sectores urbanos del municipio de Popayán.

Para realizar este diagnóstico se contó con el apoyo de la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) y acueducto y alcantarillado de Popayán SA ESP entidades que facilitaron la documentación pertinente, en la cual se pudo evidenciar y analizar toda la información referente, a los puntos de vertimiento ubicados en la ciudad de Popayán, identificando claramente las respectivas descargas residuales para los periodos estudiados entre el 2020 y el 2023, en el cuerpo receptor del área urbana del municipio de Popayán. Así mismo, es importante resaltar que dentro de la ciudad hay 9 puntos de descarga plenamente identificados, de los cuales se van a analizar estratégicamente 6 de ellos, 4 que desembocan directamente en la cuenca del río Cauca y 2 provenientes del río Ejido y río Molino respectivamente que son tributarios del río Cauca los cuales se encuentran incluidos en los planes de saneamiento y manejo de vertimientos (PSMV), una vez recolectada la información se pudo consolidar datos claves, permitiendo clasificar cada punto de descarga a lo largo del cauce, para así determinar la problemática que se está presentando actualmente en el afluente del río Cauca.

Tabla 3. Puntos de Vertimiento del río Cauca

NUMERO	PUNTO DE VERTIMIENTO	FUENTE RECEPTORA	GEORREFERENCIACIÓN GEOGRÁFICA		ELEVACIÓN
			N	W	
1	Palacé	Río Cauca	02°27'47.1"	76°35'23.4"	1767
2	La Julia	Río Cauca	02°27'43.5"	76°36'24,7"	1738
3	Machángara	Río Cauca	02°27'37,5"	76°36'24,8"	1737
4	Minuto de Dios	Río Ejido	02°26'26,8"	76°37'10,2"	1756.
5	Cámara 23	Río Cauca	02°27'25,19"	76°38'33,18"	1699
6	La Isla	Río Molino	02°28'46,9"	76°38'38,7"	1713

Fuente: elaboración propia

Tabla 4. Parámetros de los 6 puntos de vertimiento.

Vertimiento → Parámetro ↓	Punto 1. Vertimiento Palacé				Punto 2. Vertimiento La Julia				Punto 3. Vertimiento Machángara			
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
pH (Und)	6,4	7	6,5	7,356	7,4	7,73	7,7	7,4	7,32	7,63	7,74	7,64
Temperatura (°C)	15,45	21,8	21,55	20,45	20,1	22,6	21,8	20,1	19,8	22,3	22,35	21,2
Conductividad	631,5	611,5	650	465,5	552	711	697,5	708	525	518	534,5	454
Caudal (L/s)	74,525	250,91	24,56	14,81	72,75	136,75	265,81	163,26	202,72	133,78	49,66	33,48
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	0,9	2,65	1	1,5	1,76	3,3	2,35	0,2	1,2	1,5	1,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	97,27	84,5	87,4	58,4	50,83	70,7	58,3	23,1	53,79	73,5	60,3	20,8
Demanda Química de Oxígeno DQO	126,33	174,17	102,99	112,83	124,4	179,5	142,35	48,87	97,63	148,91	98,4	39,03
Sólidos Suspendidos Totales SST	190,28	85,6	70,24	88,9	170,96	50	65,89	79,5	434,5	120,5	70,52	85,6

Vertimiento ↓ Parámetro ↓	Punto 4. Vertimiento Minuto de Dios				Punto 5. Vertimiento Cámara 23				Punto 6. Vertimiento La Isla				RESOLUCIÓN 631 DE 2015 Art 8. AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS ARD Y AGUA RESIDUAL NO DOMESTICA ARD DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PUBLICO DE ALCANTARILLADO CON UNA CARGA MAYOR A 3000 Kg/día DBO5
	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	Referencia
pH (Und)	5,58	7,14	6,34	7,39	7,1	7,55	7,73	7,91	5,56	7,65	6,55	7,46	6,0 - 9,0
Temperatura (°C)	18,65	21,2	20,36	19,95	18,9	22,05	21,6	21,35	17	21,85	22,03	20,85	< 40°
Conductividad	635	752	531,5	223,5	632	698,5	770	768,5	660	664	687,5	572	
Caudal (L/s)	84,01	194,76	360,7	244,15	2384,38	221,9	158,92	56,46	240,12	129,33	90,09	133,3	
Sólidos Sedimentables (mL/L)	1	1,45	0,9	1	2,8	2,4	1,6	2,35	2,48	1,15	1,9	1,7	5
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO	51,07	81,13	33,71	39,31	124,72	85,2	53,6	84,8	282,39	150,5	100,4	130,5	90
Demanda Química de Oxígeno DQO	80,31	114,58	50,74	80,98	236,09	150,4	178,6	131,86	406,77	170,4	160,5	178,8	180
Sólidos Suspendedos Totales SST	39,43	70	20	30	394,07	115,5	79,8	70,24	135	88	52,6	60,5	90

Fuente: elaboración propia.

4.2. Calidad fisicoquímica del recurso hídrico del río Cauca en el área urbana del municipio de Popayán.

4.2.1 pH

El término pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o alcalinidad total (Marín, 2019). A continuación, se define la clasificación del agua de acuerdo con el pH registrado

Tabla 5. Escala del pH

pH	CRITERIO
0 – 1	Muy ácido
2 – 3	Moderadamente ácido
4 – 6	Ligeramente ácido
7	Neutro
8 – 10	Ligeramente alcalino
10 – 12	Moderadamente alcalino
13 – 14	Muy alcalino

Fuente: (Romero, 2009).

Los monitoreos de agua residual doméstica (ARD) realizados registran un comportamiento ligeramente constante, situación generada por los procesos de tratamientos efectuados en el agua residual. En general, el agua residual doméstica analizada puede catalogarse como neutra. La Resolución 0631 de 2015, en su Artículo 8 establece un rango límite de 6,00 a 9,00 Unidades de pH.

El pH permite medir la intensidad ácida o alcalina de una muestra de agua, que difiere de los términos “Acidez y/o Alcalinidad”, en la medida de que estos últimos, lo que representan es “la Capacidad Amortiguadora de la muestra” y no su carácter ácido o básico.

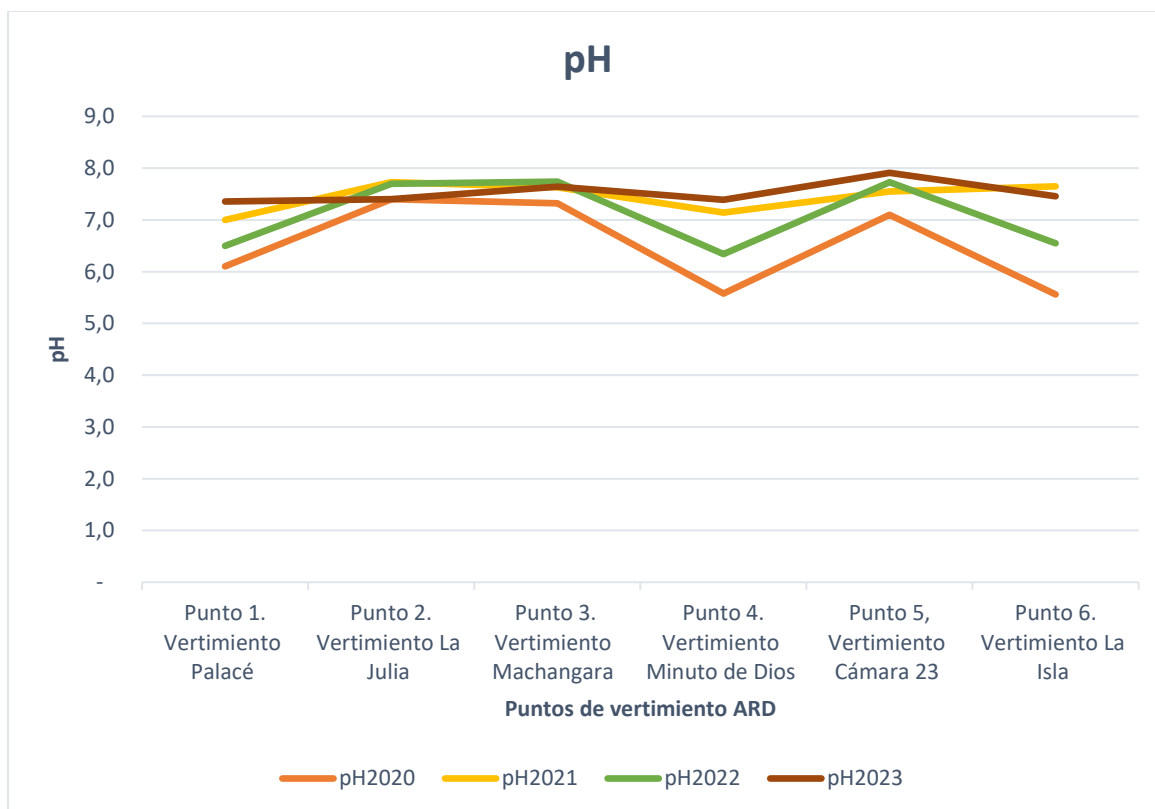
Las aguas de origen natural contienen un pH ácido, debido al CO₂ proveniente de la atmósfera y de los seres vivos, otro factor por el cual pueden adquirir este pH es por los ácidos sulfúricos provenientes de minerales, y ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo, es importante resaltar que la principal sustancia de las aguas de origen natural son el carbonato de

calcio el cual puede tener reacciones con el CO₂, desarrollando un sistema tampón carbonato / bicarbonato.

Las aguas del caudal del río Cauca al entrar en contacto con los puntos de vertimiento se contaminan, lo cual puede causar que su pH sea muy ácido, debido a los compuestos orgánicos e inorgánicos que al descomponerse con el agua, liberan este tipo de ácidos que hacen disminuir el pH en el líquido, por lo cual resulta importante mencionar que el pH influye en gran medida con los procesos químicos que se presentan en el agua, como la actuación de flocculantes y tratamientos de depuración, entre otros.

En resumen, a nivel general de los 6 puntos de vertimiento, los valores del pH varían su concentración durante los periodos de monitoreo (2020, 2021, 2022 y 2023), mostrando una tendencia constante entre 7 y 8. Por otra parte, en el punto de vertimiento 6 llamado la isla ubicado en la vereda Julumito del sector rural del municipio de Popayán se evidencia el registro más bajo en el año 2020, una de las posibles causas es que en primer lugar, el año 2020 fue un año pandémico, lo que desencadenó la reducción significativa en las actividades laborales del sector industrial y comercial, por lo tanto hubo un aumento de la permanencia de las personas en sus viviendas rurales. Esto pudo haber generado una mayor carga de aguas residuales domésticas (ARD) sin tratamiento, con alta concentración de materia orgánica en descomposición, lo cual tiende a acidificar el medio acuático.

Figura 3. Registro del pH de los 6 puntos de vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio de Popayán.



Fuente: elaboración propia

Estas concentraciones son producto de los tipos de suelos en los cuales se encuentran establecidas las poblaciones, además de mencionar que la microcuenca, atraviesa sectores donde fenómenos como la lixiviación y escorrentía permiten que lleguen componentes del suelo al agua.

Del mismo modo, otro de los factores que permite que se obtenga una neutralidad en el agua de origen natural, es la presencia de carbonato, calcio catalogado como la principal sustancia básica del agua, el cual pudo haber generado una reacción con el CO₂ contenido en la fuente hídrica, produciendo un sistema de tampón carbonato bicarbonato.

Los organismos autótrofos como algas y cianobacterias se encuentran presentes en los 6 puntos de vertimiento, según información encontrada en los informes del Acueducto y Alcantarillado de Popayán que se analizaron, se pudo concluir que este tipo de organismos consumen el CO₂ contenido en el agua, realizando este consumo durante los muestreos, ya que aprovechan la luz solar para realizar los procesos de fotosíntesis, el cual incrementa el valor del pH durante el día, aumentando de la misma manera las concentraciones de Carbonatos y Bicarbonatos.

Durante el análisis todos los puntos de vertimiento fueron monitoreados, con el fin de poder evidenciar que, si se encuentran dentro de los rangos de pH establecidos en la resolución 0631 de 2015, el cual habla sobre los criterios de calidad para la destinación del agua.

4.2.2 TEMPERATURA

Se establece por la absorción de radiación en las capas superiores del líquido, estando ligada a la energía cinética media de sus moléculas; las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en agua y en general a todas sus propiedades, tanto químicas como a su comportamiento microbiológico (Marín, 2019).

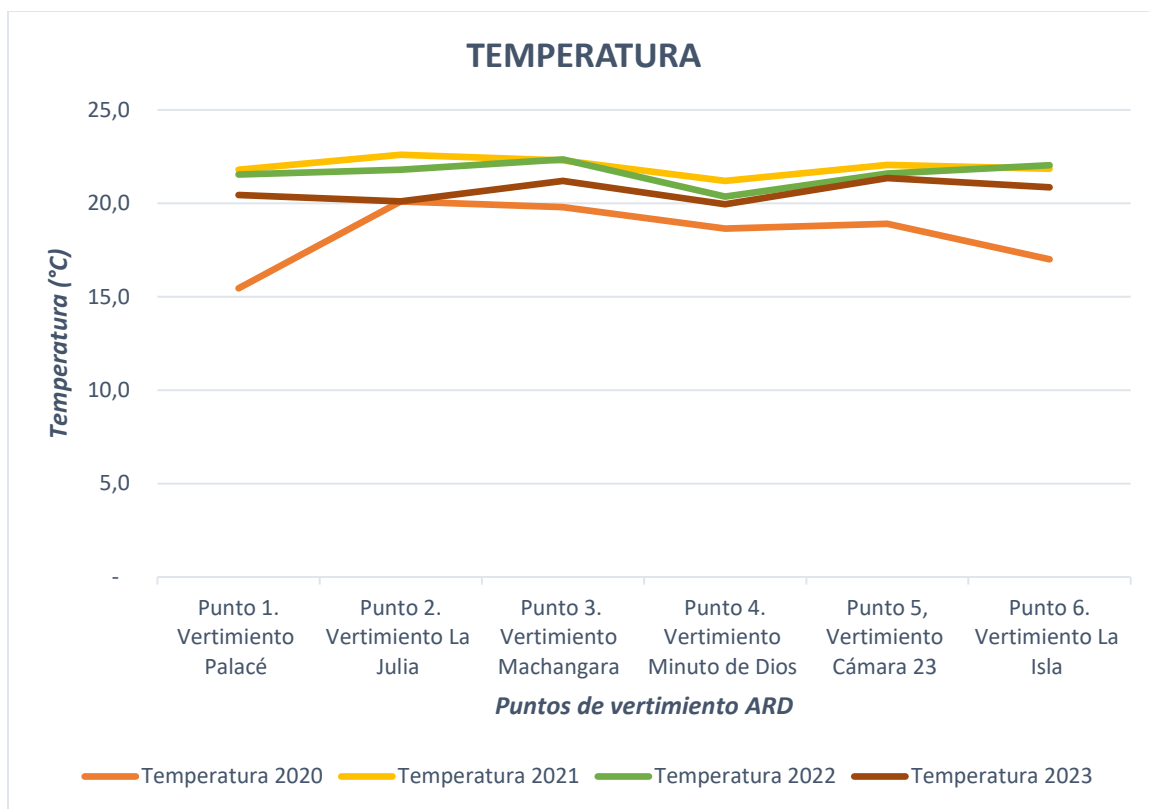
Los valores de temperatura medidos In situ en las diferentes estaciones de estudio evidencian un comportamiento ligeramente constante durante las distintas jornadas de monitoreo, de esta manera se descarta cualquier efecto adverso en la calidad del agua por fluctuaciones en la temperatura.

La temperatura del río Cauca, presenta variaciones dependiendo de la altura sobre el nivel del mar en cada uno de los 6 puntos de vertimiento, afectando del mismo modo las reacciones que ocurren en el agua durante el proceso de muestreo diario.

La alta temperatura produce que se reduzca la solubilidad de gases como el oxígeno, y que exista un aumento en las sales y en la velocidad de reacción de los metabolismos, acelerando la generación de olores fétidos, cabe la pena mencionar que la temperatura óptima para beber agua debe estar entre 10 y 14°C.

Las temperaturas registradas se mantuvieron constantes en cada uno de los 6 puntos de vertimiento, manteniendo una temperatura entre los 15 y 22 grados centígrados durante los periodos analizados (2020, 2021, 2022 y 2023), como se evidencia en la siguiente figura

Figura 4. Registro de temperatura (°C) de los 6 puntos de vertimientos de aguas residuales domesticas del municipio de Popayán.



Fuente: elaboración propia

4.2.3. **SOLIDOS SEDIMENTABLES**

Los sólidos sedimentables se definen como el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de un periodo de 60 minutos (Sierra, 2011).

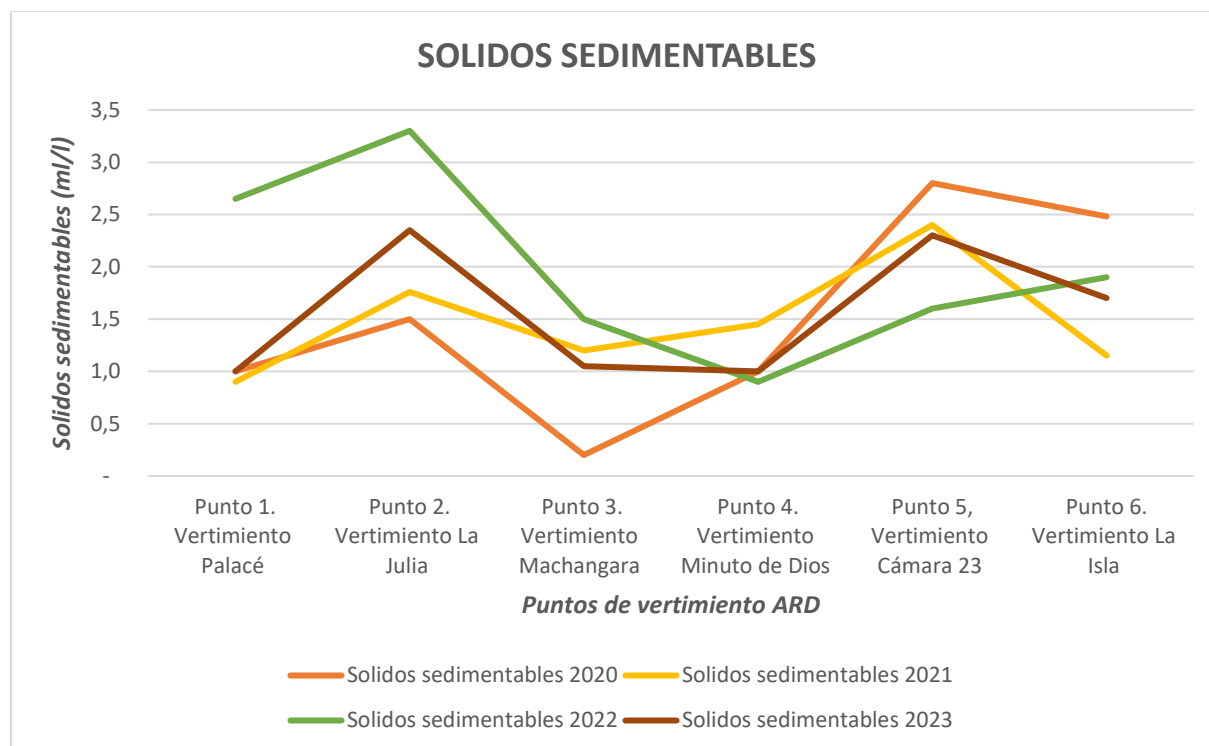
Estos se conforman por partículas muchas más densas que el agua, las cuales se encuentran inmersa en ella, siendo arrastrada por la fuerza de la corriente o turbulencia, por tal motivo, se sedimentan rápidamente por fenómenos como la gravedad, cuando el cuerpo del agua se mantiene en reposo.

Cabe la pena resaltar, que con mayor turbulencia de agua mucho mayor va ser el contenido de solidos sedimentables, aumentando el tamaño y la densidad de las partículas empujadas por la corriente de agua, por tal motivo, los sólidos sedimentables miden indirectamente la turbulencia del agua donde son sacadas las muestras, así mismo, es importante mencionar que los ríos tienden a presentar elevados valores de solidos sedimentables, por las razones anteriormente expuestas.

Respecto a los resultados de las muestras estudiadas, se presentaron fluctuaciones a nivel general debido a factores climáticos y eventos de lluvia intensa que incrementa la escorrentía superficial, arrastrando sedimentos, residuos y material particulado hacia el sistema de alcantarillado. Además, se evidencio un pico alto en el año 2022 en el punto de vertimiento #5 llamado la Julia encontrado en la zona noroccidental del área urbana del municipio de Popayán, este valor puede estar asociado a la presencia de diversas actividades antrópicas en la zona, entre ellas, el batallón de infantería N°7 Gral. José Hilario López, la clínica Santa gracia y el complejo deportivo de la villa Confacauca. Dichas instalaciones generan aportes significativos de aguas residuales, tanto domésticas como de uso institucional y recreativo. En el caso del batallón, pueden existir descargas provenientes de actividades de mantenimiento, limpieza de vehículos, mantenimiento de equipos o limpieza de grandes áreas. El hospital, por su parte, puede contribuir con residuos de tipo sanitario y aguas con alta carga orgánica. Finalmente, el complejo deportivo cuenta con amplias superficies como canchas, parqueaderos, gimnasio, desde donde las lluvias pueden arrastrar polvo, tierra, hojas o residuos de alimentos. La combinación de estos factores aumenta considerablemente la carga de sólidos suspendidos y sedimentables en el vertimiento, afectando los parámetros de calidad del agua en ese punto. Por otra parte, se puede observar que esta variación en el vertimiento, cambia de manera consecuente entre 0,2 mL/L y 3,3 mL/L. Así mismo, el Artículo 8 de la Resolución 0631 de 2015 (MADS) refiere un límite máximo permisible de 5,00 ml/L respectivamente.

Las pruebas realizadas permiten analizar en una fuente o cuerpo de agua, las masas de lodo, los cuales deberían ser removidos en las unidades de sedimentación de una planta de tratamiento de agua, debido a que las partículas inorgánicas neutras de estas son del tamaño de la arena, motivo por el cual es mucho más fácil el proceso, a continuación, se muestra los registros de los sólidos sedimentables en los periodos (2020, 2021, 2022 y 2023).

Figura 5. Registro de Solidos sedimentables (ml/l) de los 6 puntos de vertimientos de aguas residuales domesticas del municipio de Popayán.



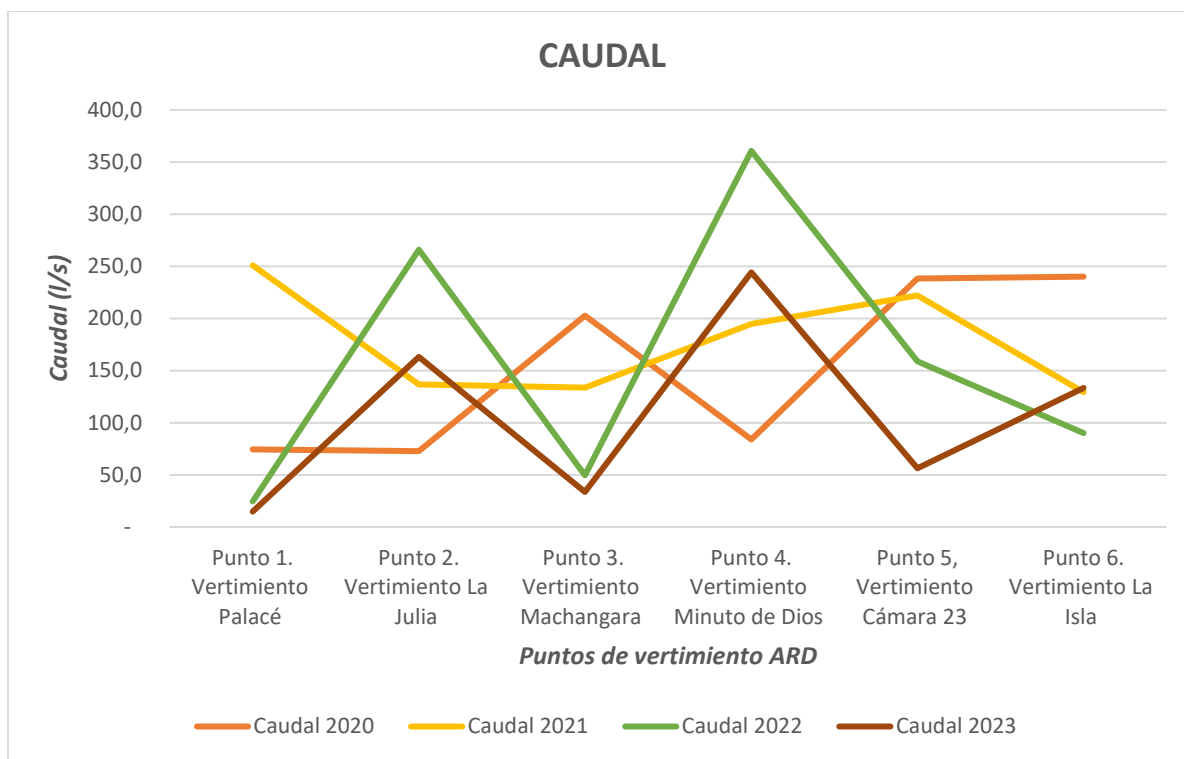
Fuente: elaboración propia

En resumen, de todos los 6 puntos de vertimiento que se observan en la gráfica, los valores de los sólidos sedimentables tuvieron una tendencia de variabilidad durante los periodos analizados (2020, 2021, 2022 y 2023) sin exceder los límites máximos permisibles según la resolución 0631 del 2015.

4.2.4 CAUDAL

Este parámetro es afectado considerablemente por los periodos climáticos que se pueden presentar durante los monitoreos, siendo la lluvia el factor más relevante sobre la medición numérica del estudio, en la siguiente figura se muestran las variaciones de caudal se los 6 puntos de vertimiento.

Figura 6. Registro de Caudal (l/s) de los 6 puntos de vertimientos de aguas residuales domesticas del municipio de Popayán.



Fuente: elaboración propia

La gráfica de caudales correspondiente a los años 2020 a 2023 en 6 puntos de vertimiento de aguas residuales domésticas en el municipio de Popayán evidencia fluctuaciones significativas entre los distintos años y puntos monitoreados. Estas variaciones pueden explicarse por múltiples factores, entre ellos, el comportamiento poblacional durante el año 2020, marcado por las restricciones de la pandemia por COVID-19, que alteraron las estadísticas de consumo y generación de aguas residuales domésticas. Por otro lado, el crecimiento urbano progresivo y la incorporación de nuevas conexiones e instalaciones al sistema de alcantarillado pueden modificar los volúmenes descargados en algunos sectores. Las condiciones climáticas también influyen, y esta sería una de las principales razones especialmente durante temporadas de lluvias intensas que aumentan la escorrentía y, con ello, el ingreso de aguas superficiales al sistema de alcantarillado. Adicionalmente, factores operativos como el mantenimiento, la obstrucción o los desvíos temporales del flujo afectan los registros de caudal.

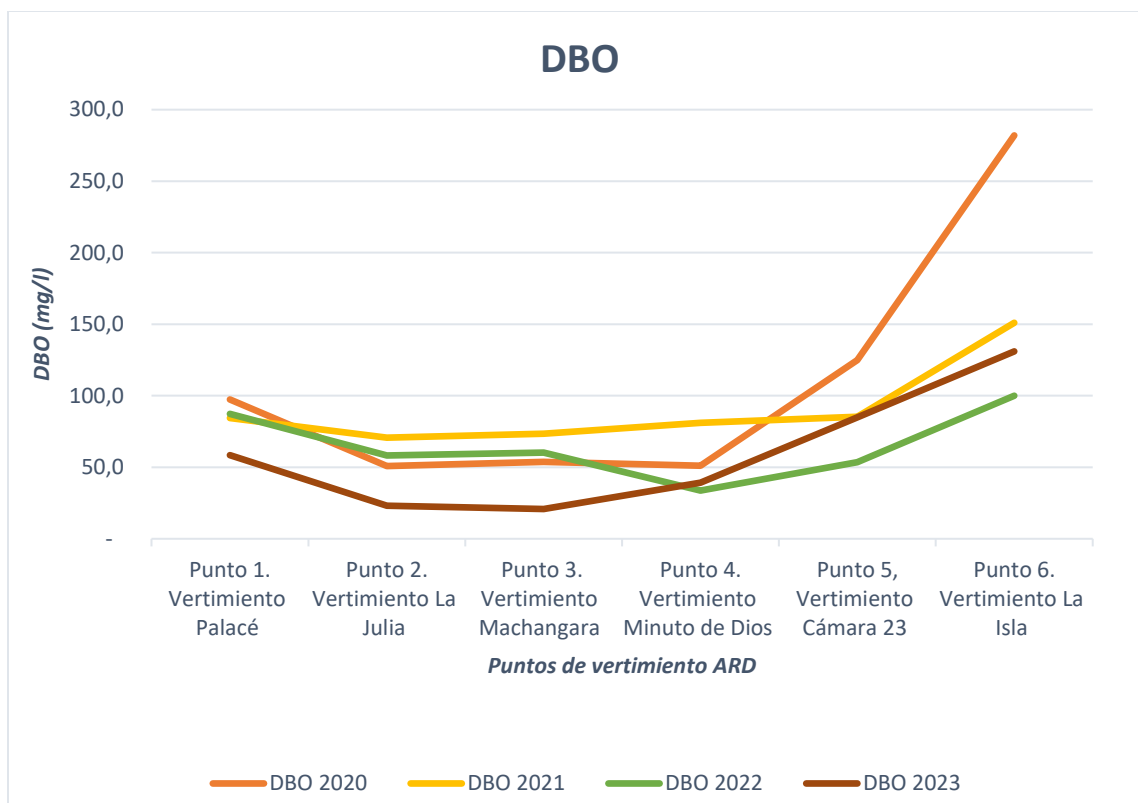
El significativo aumento del caudal registrado en el año 2022 en el punto de vertimiento N°4 minuto de Dios que alcanzó los 360,7 l/s, puede explicarse por la influencia de factores antrópicos y geográficos. Este punto de vertimiento se localiza en el sector suroccidental del área urbana de Popayán, específicamente en inmediaciones del barrio minuto de Dios, una zona con

alta densidad poblacional y fuerte actividad comercial, Uno de los factores determinantes es la presencia de la conocida zona gastronómica “Salchipapas La 20”, una calle entera dedicada a la venta de alimentos preparados, que genera un considerable volumen de aguas residuales con alto contenido de grasas, sólidos y materia orgánica. A esto se suma la cercanía del Hospital Susana López de Valencia, uno de los centros médicos más grandes de la ciudad, que maneja un alto flujo diario de pacientes, personal y operaciones hospitalarias, lo cual incrementa el vertimiento de aguas residuales. Además, este punto descarga directamente sobre el río Ejido, un cuerpo de agua que atraviesa el centro urbano y que, por sus características y recorrido, podría estar recibiendo vertimientos no regulados. La combinación de estos factores explicaría el elevado caudal observado en este punto durante el año en mención.

4.2.5. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5)

La DBO permite determinar la concentración de la materia orgánica biodegradable en aguas y aguas residuales (Romero, 2009). Por materia biodegradable se entiende o se interpreta como la materia orgánica que sirve como alimento a los microorganismos y que proporciona energía como resultado de su oxidación. La DBO es ampliamente utilizada para determinar el grado de contaminación en materia orgánica biodegradable, en aguas residuales domésticas. La DQO por su parte, es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte (Romero, 2009).

Figura 7. Registro de DBO (mg/l) de los 6 puntos de vertimientos de aguas residuales domesticas del municipio de Popayán.



Fuente: elaboración propia

La evolución de los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en los vertimientos urbanos de Popayán, entre 2020 y 2023, plantea una preocupación constante en torno al estado del agua. Este parámetro, utilizado para evaluar la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual, permite dimensionar con claridad el impacto que las actividades humanas están teniendo sobre los cuerpos hídricos.

El año 2020 marcó un punto crítico en el punto de vertimiento conocido como *La Isla*. Esta situación puede estar directamente relacionada con el contexto de confinamiento vivido durante la pandemia por COVID-19, donde la mayoría de la población permaneció en sus viviendas, lo que generó un aumento en la carga orgánica de las aguas residuales domésticas. Este punto de vertimiento se encuentra en una zona densamente poblada del municipio de Popayán y vierte directamente sus aguas al río Molino. Es importante resaltar que este afluente ya recibe previamente tres descargas de aguas residuales, por lo que el valor registrado en *La Isla* puede ser el resultado de la acumulación de contaminantes aguas arriba, reflejando la carga combinada de los vertimientos anteriores en el cauce del río Molino.

Al observar los datos de 2021, se aprecia una ligera mejora, aunque no suficiente para hablar de una tendencia positiva sostenida. Si bien los valores disminuyen levemente, la presencia de concentraciones elevadas se mantiene en puntos específicos, lo cual podría estar relacionado con una cobertura irregular del servicio de saneamiento o una falta de control sobre los vertimientos clandestinos.

El año 2022 muestra una caída significativa en los niveles de DBO. Esta mejora, aunque positiva, podría estar asociada a diversos factores, desde condiciones climáticas hasta intervenciones técnicas o acciones puntuales de limpieza. Sin embargo, este alivio fue temporal. En 2023, los niveles de DBO vuelven a incrementarse en varios puntos, reflejando una falta de continuidad en las estrategias de gestión y control.

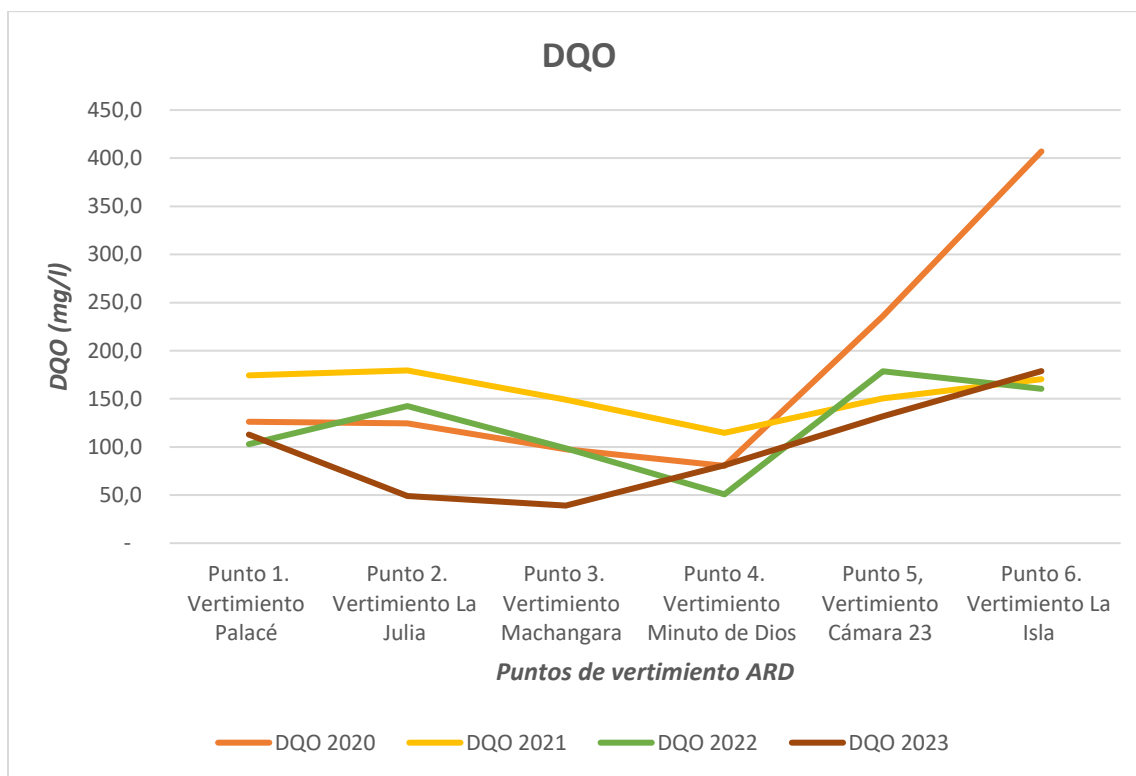
Esta variabilidad en el comportamiento de la DBO evidencia que carece de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Popayán. La ausencia de medidas permanentes y la falta de una inversión estructural provocan que los avances sean frágiles. Además, estos vertimientos son descargados directamente a los cuerpos de agua sin ningún tipo de tratamiento previo que permita minimizar su impacto, lo cual no solo genera un deterioro ambiental significativo, sino que también representa un riesgo sanitario y de salud pública para las comunidades cercanas, debido a la exposición a contaminantes presentes en las aguas residuales.

Más allá de las cifras, lo que estos datos muestran es una relación disfuncional entre la ciudad y sus fuentes hídricas. La DBO no es solo un indicador técnico; es una señal de alarma que exige respuestas urgentes, integrales y sostenidas. Es necesario replantear la forma en que se gestionan los vertimientos. Este indicador refleja una necesidad urgente de implementar la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Popayán (PTAR), considerando que la ciudadanía ya está asumiendo el pago de tasas retributivas incluidas en la factura del servicio de acueducto y alcantarillado. Dichos aportes tienen como propósito garantizar la existencia de un sistema eficiente de tratamiento de aguas residuales, que cumpla con la normativa ambiental vigente y contribuya a la protección de los recursos hídricos y la salud pública.

4.2.6. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química (Romero, 2009).

Figura 8. Registro de DQO (mg/l) de los 6 puntos de vertimientos de aguas residuales domesticas del municipio de Popayán.



Fuente: elaboración propia

La gráfica que ilustra los niveles de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en distintos puntos de vertimiento de Popayán entre los años 2020 y 2023 lo cual brinda una lectura clara y preocupante sobre el estado de las aguas residuales de la ciudad. Aunque a simple vista puede parecer un conjunto de líneas de colores, lo que representa es mucho más serio, ya que habla de la cantidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en las descargas que terminan en la cuenca del río Cauca.

La DQO es un indicador que mide cuánto oxígeno se necesita para descomponer la materia presente en el agua. Valores elevados suelen reflejar una alta carga de residuos químicos, como

detergentes, grasas, solventes, o restos industriales. Por eso, cuando en 2020 se observa una curva azul ascendente que supera los 400 mg/L en el Punto 9 (La Isla). Durante ese año, correspondiente al periodo de pandemia y confinamiento obligatorio, el valor obtenido sugiere una mayor concentración de materia orgánica y compuestos químicos en el agua residual. Esta situación puede atribuirse a la permanencia prolongada de la población en sus viviendas, debido al COVID-19, lo que incrementó la generación de aguas residuales y su descarga directa sin tratamiento previo.

Además, este punto (La Isla) recibe las descargas de otros tres vertimientos ubicados aguas arriba en el cauce del río Molino, por lo que la concentración observada podría representar una acumulación de carga contaminante.

En los demás años, la gráfica muestra variaciones que invitan a reflexionar. En 2021 y 2022, se ve un intento de estabilidad, con niveles que, aunque siguen siendo altos, son más contenidos. Esto podría deberse a ciertas intervenciones o controles temporales como las campañas de educación ambiental por parte de la corporación autónoma del Cauca (CRC) o la alcaldía municipal de Popayán, con el fin de generar cambios de comportamiento comunitario en cuando al manejo de aguas servidas, adicionalmente, otra de las variables que puede influir es el aumento del caudal del cuerpo receptor por las épocas de lluvia, lo cual hace que el caudal de río crezca, favoreciendo la disolución de contaminantes y reduciendo de manera temporal la concentración de DQO. Sin embargo, 2023 vuelve a levantar el pulso en varios puntos, especialmente en los puntos 2,5 y 6, lo que da a entender que el problema persiste y posiblemente se ha desplazado o concentrado en otras zonas.

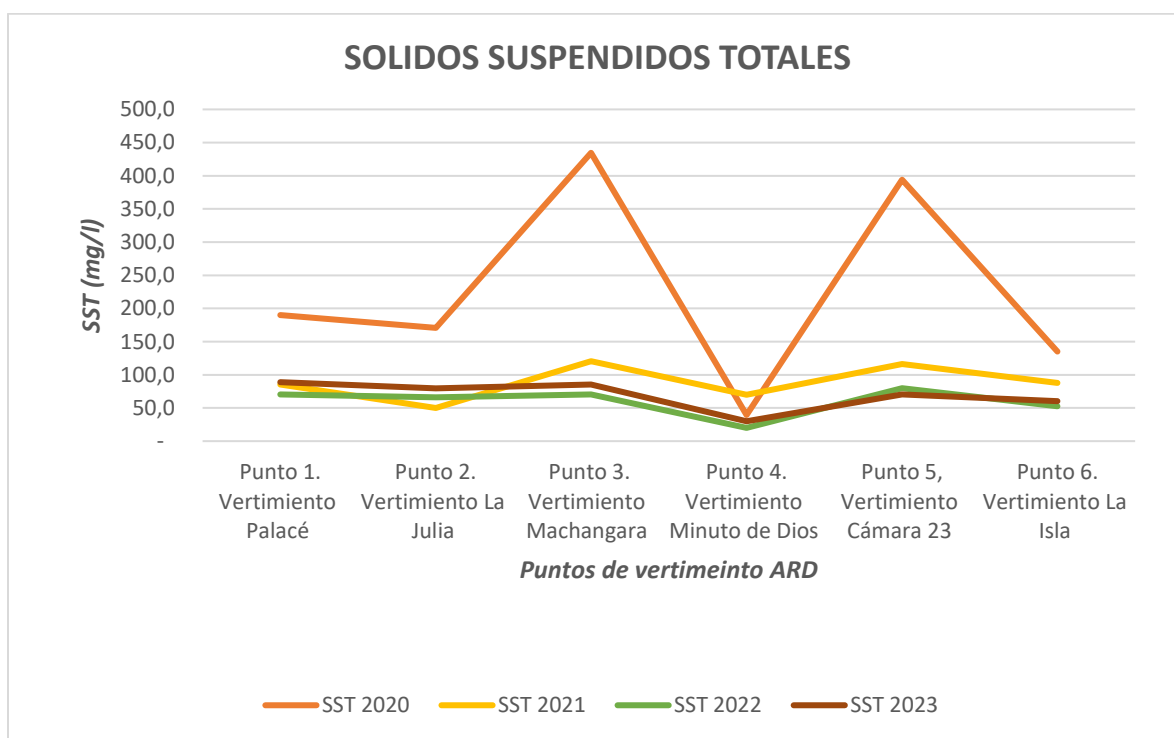
Lo más preocupante no es solamente el valor numérico, sino su repetición y persistencia. Cada año, los mismos puntos tienden a registrar niveles elevados. Esto indica que no se trata de un problema puntual, sino estructural. En otras palabras, los vertimientos no están siendo tratados con la rigurosidad que exige la situación ambiental de la ciudad.

En términos humanos, esto afecta directamente a los ecosistemas del río Cauca y a las personas que viven cerca de él. Donde hay alta DQO, hay menor oxígeno disponible para los organismos acuáticos, y eso significa menos vida en el agua, mayor riesgo sanitario, y pérdida de biodiversidad. Si a esto se le suma el crecimiento urbano sin planificación, la situación se vuelve aún más compleja.

4.2.7. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) son partículas sólidas que se encuentran suspendidas en el agua y que **no se disuelven** fácilmente. Estas partículas pueden estar compuestas por materia orgánica, arcilla, lodos, microorganismos, residuos industriales o materiales inorgánicos (como arena o limo). Los SST son uno de los principales contaminantes físicos que afectan la calidad del agua.

Figura 9. Registro de Sólidos Suspendidos (mg/l) de los 6 puntos de vertimientos de aguas residuales domésticas del municipio de Popayán



Fuente: elaboración propia

Cuando se analiza el comportamiento de los sólidos suspendidos totales (SST) en distintos puntos de vertimiento urbano en la ciudad de Popayán, se obtiene una lectura preocupante sobre la calidad del agua. Estos sólidos, formados por residuos orgánicos, sedimentos y partículas que no se disuelven, son un reflejo directo del tipo de desechos que están llegando al cauce del río Cauca.

En el año 2020, los registros muestran niveles muy altos en varios puntos, especialmente en los vertimientos 3 y 5, donde los valores superan los 400 mg/l. La razón principal del aumento de los SST en estos puntos durante el año 2020 puede atribuirse al incremento en la descarga de materiales sólidos, residuos domésticos y partículas provenientes de escorrentía urbana, especialmente durante episodios de lluvia. Durante ese periodo pandémico, además, muchas actividades industriales y de mantenimiento urbano se vieron alteradas, lo que pudo haber ocasionado una acumulación y posterior arrastre de residuos al sistema de alcantarillado. La falta de sistemas de pretratamiento o rejillas de retención en estas zonas estratégicas pudo haber facilitado el ingreso directo de residuos sólidos al sistema de vertimientos, elevando significativamente los valores de SST registrados. La magnitud de estos valores revela que ese año hubo una fuerte presión sobre los recursos hídricos de la ciudad.

Durante los siguientes dos años, 2021 y 2022, los niveles disminuyeron considerablemente. Aunque no bajaron a rangos óptimos, sí hubo una reducción significativa, con promedios mucho más estables entre los diferentes puntos monitoreados. Esta caída puede interpretarse como el resultado de intervenciones puntuales, como limpiezas de redes o la construcción de una Planta de tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), esto también podría deberse a variaciones estacionales como menores lluvias o a una menor actividad económica, cabe la pena resaltar que durante este periodo aún se sentían los efectos de la pandemia del COVID-19, factor que pudo haber causado una reducción en las actividades industriales, comerciales e institucionales, trayendo consigo una reducción de residuos sólidos.

Básicamente, los datos evidencian que la fuente hídrica presenta una elevada carga de sólidos suspendidos, lo cual limita el oxígeno del agua y afecta la supervivencia del ecosistema acuático, debido a esta problemática las especies acuáticas sufren debido a que los fondos de los ríos se encuentran cubiertos de lodo perdiendo por completo el equilibrio existente en estos entornos.

5. Calcular el índice de calidad del agua (ICA) para los 6 puntos de vertimiento que desembocan directamente en el río Cauca en el municipio de Popayán

5.1 Índice de Calidad del Agua (ICA)

En la actualidad existen diferentes metodologías para evaluar la calidad del agua de un cuerpo, la diferencia entre una y otra radica en la forma de calcular los parámetros que se tienen en cuenta en la formulación del índice respectivo.

La necesidad de poder comparar la calidad de distintas muestras de agua, fomento el desarrollo de indicadores que permiten unificar distintos parámetros fisicoquímicos del agua, en un solo valor numérico, dicho valor se denomina ICA por sus siglas Indica de Calidad del Agua.

Este índice resulta de la combinación más o menos compleja de varios parámetros que generan la caracterización del agua, generando una ventaja la cual radica en que se puede interpretar de una manera mucho más sencilla que una lista de valores numéricos.

Las personas que interactúan con esta información pueden estar relacionados con diferentes disciplinas como Biólogos, ingenieros ambientales y sanitarios, profesionales en recursos hídricos o diferentes personas que soliciten esta información como estudiantes y público en general, estos índices son utilizados para conocer la calidad del agua y los posibles usos del ICA son:

Manejo del recurso: permite obtener información para la toma de decisiones en cuanto al mejoramiento del recurso.

Clasificación de las Áreas: permite realizar una comparación de las diferentes áreas para conocer el estado del recurso hídrico.

Aplicación de la Normatividad: con ello se puede determinar si se cumple o no con la normatividad ambiental y las políticas establecidas.

Análisis de Tendencia: permite evidenciar si la calidad ambiental se encuentra en un punto de mejora o por el contrario si se encuentra en un estado crítico, cabe la pena resaltar que este análisis se realizar en un periodo de tiempo establecido.

Información pública: estos índices son empleados para crear concientización o educación ambiental.

Investigación Científica: permite realizar una simplificación de datos con el fin de que se pueda analizar fácilmente brindando una visión clara de los fenómenos ambientales.

Del mismo modo, el ICA se convierte en una herramienta importante que genera información, sobre la calidad del recurso hídrico a las diferentes autoridades ambientales y a la comunidad en general, además de ser un indicador el cual unifica los parámetros de medición de la calidad del agua. Este índice utiliza fórmulas matemáticas que permiten generar datos reales que permiten diagnosticar la calidad del agua, clasificada como excelente, buena, pobre, muy pobre y no apta (Gil-Marín et al., 2018).

Tabla 6. Clasificación del Índice de Calidad del Agua

RANGO DE CALIDAD (Q)	ESCALA COLOR / INTERPRETACIÓN
91 – 100	Excelente
71 – 90	Buena
51 – 70	Regular
26 – 50	Mala
0 - 25	Muy Mala

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7. Cálculo del ICA punto 1 Vertimiento Palace.

PUNTO 1 VERTIMIENTO PALACE													
	Valor	Calificación q_i				Peso (w_i)				$q_i * w_i$			
Parametro	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Oxígeno disuelto (OD)	1,53	10	20	22	18	0,17	0,17	0,17	0,17	1,7	3,4	3,74	3,06
Coliformes fecales	270	90	91	89	92	0,16	0,16	0,16	0,16	14,4	14,56	14,24	14,72
pH	7,356	87	90	88	92	0,11	0,11	0,11	0,11	9,57	9,9	9,68	10,12
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	58,4	2	4	3	10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,22	0,44	0,33	1,1
Temperatura	20,45	85	80	80	82	0,1	0,1	0,1	0,1	8,5	8	8	8,2
Nitratos	0,15	90	95	96	94	0,1	0,1	0,1	0,1	9	9,5	9,6	9,4
Fosfatos	3,52	60	65	58	63	0,1	0,1	0,1	0,1	6	6,5	5,8	6,3
Sólidos totales (o conductividad)	465,5	60	62	58	70	0,15	0,15	0,15	0,15	9	9,3	8,7	10,5
<u>ICA</u>										58,39	61,6	60,09	63,4

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realiza el cálculo del ICA para el **punto 1 Vertimiento Palace**.

Fórmula general del Índice de Calidad del Agua (ICA - NSF):

Año 2020

$$ICA = \sum(q_i \times w_i) / \sum w_i$$

$$ICA = (10 \times 0.17) + (90 \times 0.16) + (87 \times 0.11) + (2 \times 0.11) + (85 \times 0.10) + (90 \times 0.10) + (60 \times 0.10) + (60 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 1.70 + 14.40 + 9.57 + 0.22 + 8.50 + 9.00 + 6.00 + 9.00 / 1.00$$

$$ICA = 58.39 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{58.39} \text{ REGULAR}$$

Año 2021

$$ICA = (20 \times 0.17) + (91 \times 0.16) + (90 \times 0.11) + (4 \times 0.11) + (80 \times 0.10) + (95 \times 0.10) + (65 \times 0.10) + (62 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.40 + 14.56 + 9.90 + 0.44 + 8.00 + 9.50 + 6.50 + 9.30 / 1.00$$

$$ICA = 61.60 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{61.60} \text{ REGULAR}$$

Año 2022

$$ICA = (22 \times 0.17) + (89 \times 0.16) + (88 \times 0.11) + (3 \times 0.11) + (80 \times 0.10) + (96 \times 0.10) + (58 \times 0.10) + (58 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.74 + 14.24 + 9.68 + 0.33 + 8.00 + 9.60 + 5.80 + 8.70 / 1.00$$

$$ICA = 60.09 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{60.09} \text{ REGULAR}$$

Año 2023

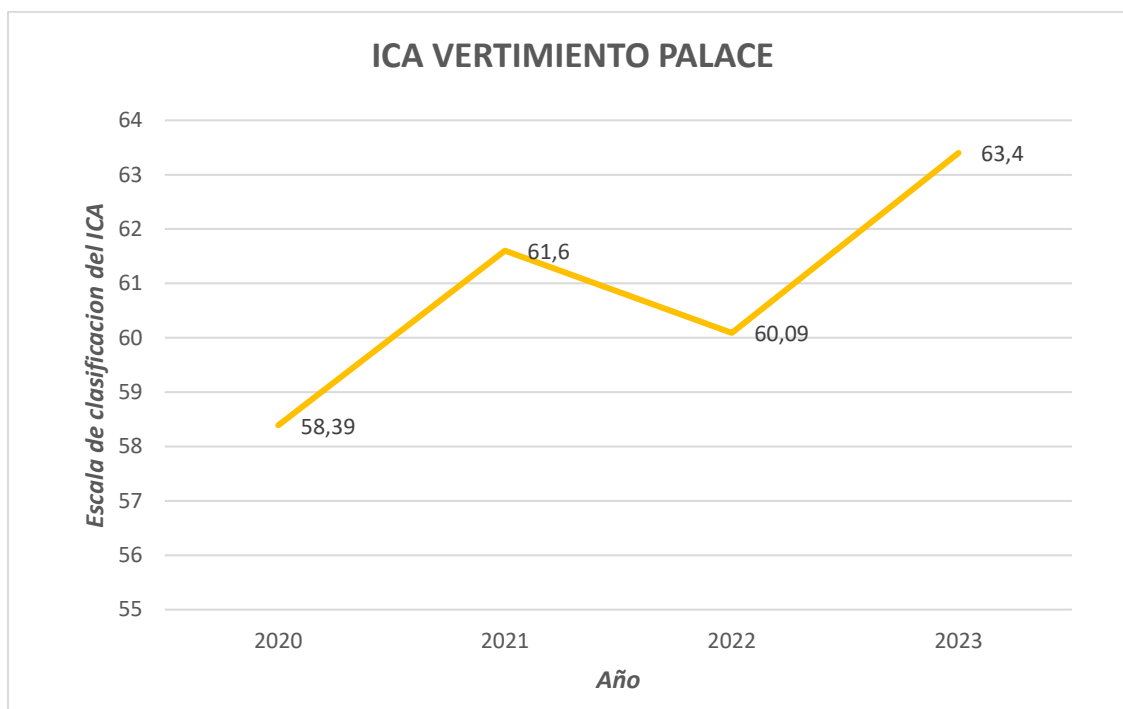
$$ICA = (18 \times 0.17) + (92 \times 0.16) + (92 \times 0.11) + (10 \times 0.11) + (82 \times 0.10) + (94 \times 0.10) + (63 \times 0.10) + (70 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.06 + 14.72 + 10.12 + 1.10 + 8.20 + 9.40 + 6.30 + 10.50 / 1.00$$

$$ICA = 63.40 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{63.40} \text{ REGULAR}$$

Figura 10. Cálculo del ICA punto 1 Vertimiento Palace.



Fuente: Elaboración propia

En 2020, el ICA se ubicó en 58.39 clasificándose como **regular**, siendo este el año que evidencio el porcentaje más bajo dentro de los años evaluados, cabe la pena mencionar que la diferencia no es significativa debido a que los otros periodos evaluados reflejan un resultado regular. Por otra parte, el resultado fue influenciado básicamente por niveles críticos de oxígeno disuelto y elevados valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), lo cual permite determinar la presencia de contaminantes orgánicos y condiciones poco favorables para el ecosistema acuático.

Durante los años 2021 y 2022, los índices presentaron una pequeña mejora pasando a 61.60 y 60.09, respectivamente, este leve progreso positivo estuvo relacionado a mejoras en los niveles de pH y coliformes fecales, aunque los valores de DBO continuaron afectando significativamente el puntaje total, este avance no fue sostenido de forma significativa, lo que evidencia una necesidad de acciones estructurales más efectivas para el tratamiento y conservación de la fuente hídrica.

En año 2023 se registró el mejor valor del ICA de los periodos analizados, reportando un 63.40, con lo cual este resultado refleja un avance leve, el cual se encuentra impulsado por

parámetros como pH óptimo, conductividad más estable y bajos niveles de nitratos. Sin embargo, los bajos niveles de oxígeno disuelto y la persistencia de una DBO elevada siguen limitando la posibilidad de clasificar la calidad del agua como buena.

Tabla 8. Índice de Calidad del Agua (ICA) – Punto 2 Vertimiento la Julia.

PUNTO 2 VERTIMIENTO LA JULIA													
	Valor	Calificación q_i				Peso (w_i)				$q_i * w_i$			
Parámetro	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Oxígeno disuelto (OD)	1,79	15	25	22	20	0,17	0,17	0,17	0,17	2,55	4,25	3,74	3,4
Coliformes fecales	350	85	84	82	85	0,16	0,16	0,16	0,16	13,6	13,44	13,12	13,6
pH	7,4	93	89	88	93	0,11	0,11	0,11	0,11	10,23	9,79	9,68	10,23
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	23,1	25	10	20	55	0,11	0,11	0,11	0,11	2,75	1,1	2,2	6,05
Temperatura	20,1	80	78	80	80	0,1	1	0,1	0,1	8	78	8	8
Nitratos	0,19	94	93	92	93	0,1	1	0,1	0,1	9,4	93	9,2	9,3
Fosfatos	3,24	66	64	68	66	0,1	0,1	0,1	0,1	6,6	6,4	6,8	6,6
Sólidos totales (o conductividad)	79,5	85	96	94	92	0,15	0,15	0,15	0,15	12,75	14,4	14,1	13,8
<u>ICA</u>										65,56	66,48	66,84	70,98

Fuente: elaboración propia

A continuación, se realiza el cálculo del ICA para el **punto 2 Vertimiento la Julia**.

Fórmula general del Índice de Calidad del Agua (ICA - NSF):

Año 2020

$$ICA = \sum(q_i \times w_i) / \sum w_i$$

$$ICA = (15 \times 0.17) + (83 \times 0.16) + (93 \times 0.11) + (25 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (94 \times 0.1) + (66 \times 0.1) + (85 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 2.55 + 13.28 + 10.23 + 2.75 + 8.00 + 9.40 + 6.60 + 12.75 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{65.56} \text{ REGULAR}$$

Año 2021

$$ICA = (25 \times 0.17) + (84 \times 0.16) + (89 \times 0.11) + (10 \times 0.11) + (78 \times 0.1) + (93 \times 0.1) + (64 \times 0.1) + (96 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 4.25 + 13.44 + 9.79 + 1.10 + 7.80 + 9.30 + 6.40 + 14.40 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{66.48} \text{ REGULAR}$$

Año 2022

$$ICA = (22 \times 0.17) + (82 \times 0.16) + (88 \times 0.11) + (20 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (92 \times 0.1) + (68 \times 0.1) + (94 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.74 + 13.12 + 9.68 + 2.20 + 8.00 + 9.20 + 6.80 + 14.10 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{66.84} \text{ REGULAR}$$

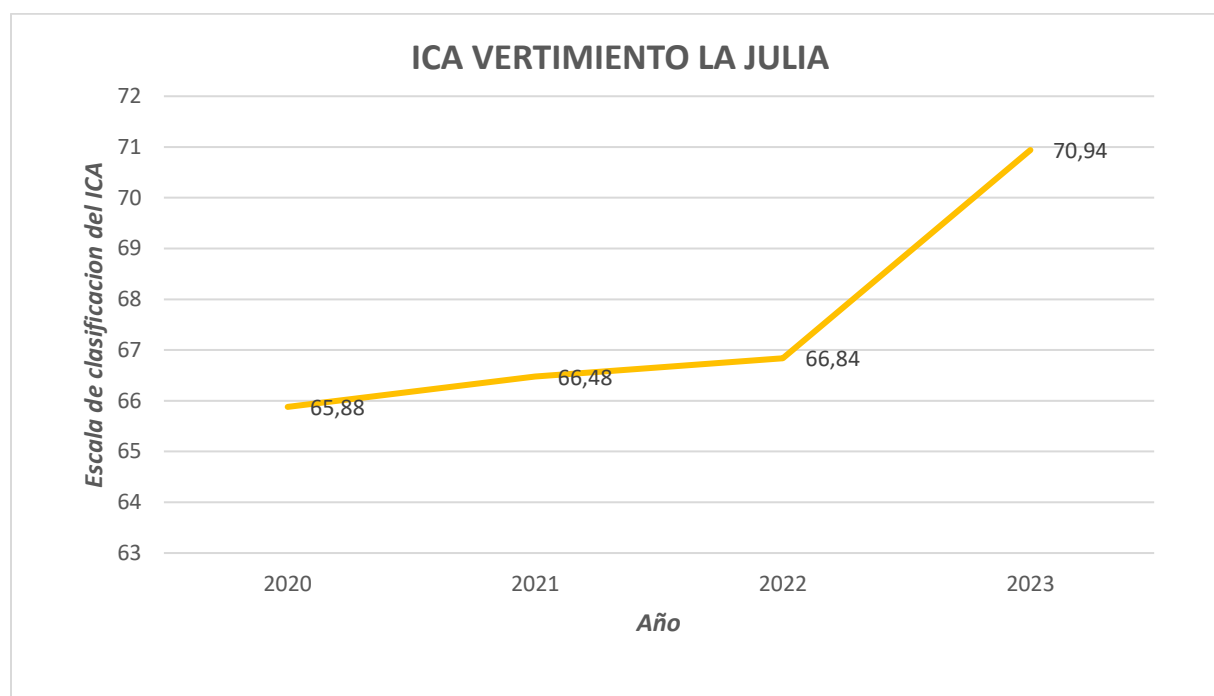
Año 2023

$$ICA = (20 \times 0.17) + (85 \times 0.16) + (93 \times 0.11) + (55 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (93 \times 0.1) + (66 \times 0.1) + (92 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.40 + 13.60 + 10.23 + 6.05 + 8.00 + 9.30 + 6.60 + 13.80 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{70.98} \text{ BUENA}$$

Figura 11. Cálculo del ICA punto 2 Vertimiento la Julia



Fuente: Elaboración propia

El ICA en el año 2020 muestra un resultado de 65.56, una puntuación regular, el cual puede estar influenciado por los bajos niveles de oxígeno disuelto (OD) y una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) un poco elevada, lo cual evidencia la presencia de materia orgánica y poca oxigenación, así mismo, se puede argumentar que pese a contar con una buena conductividad y un pH adecuado, estos parámetros no fueron suficientes para superar el rango de buena calidad.

El ICA en el año 2021 mejoró su calificación en un 0.92 pasando a 66.48, gracias a una ligera recuperación en el OD y estabilidad en otras variables como pH y nitratos. Sin embargo, la DBO sigue siendo un punto crítico ya que no permitió mejorar calificación. Este pequeño aumento un poco modesto, refleja un mínimo progreso en las condiciones de la fuente hídrica.

En el año 2022, el índice se elevó a 66.84, aumentando un 0.36, lo cual consolida una tendencia positiva, por otra parte, se puede evidenciar que la mayoría de los parámetros analizados se mantuvieron estables o mejoraron levemente. Aunque la DBO sigue siendo alta, la combinación de una mejor conductividad, niveles bajos de nitratos y un pH adecuado favoreció la calificación general.

Finalmente, en 2023, el ICA alcanzó un punto máximo de 70.98, clasificándose por primera vez como agua de buena calidad, este avance se atribuye a una notable disminución de la DBO y la estabilidad de parámetros clave como el pH, los nitratos y la conductividad. A pesar de que el OD aún podría mejorar, su valor no fue tan bajo como en años anteriores, permitiendo alcanzar el umbral de calidad superior. Por otra parte, comparaci3neo, los valores de esta estaci3n son m3s altos respecto a los otros por varias causales, entre las cuales se destaca que existe o se presenta un mayor caudal en este tramo, lo cual beneficia el cuerpo receptor, ya que permite una mayor disoluci3n de los contaminantes, lo que reduce en gran medida algunos parámetros como el DBO, DBQ SST, permitiendo que el ICA se eleve.

Tabla 9. Índice de Calidad del Agua (ICA) – Punto 3 Vertimiento Machángara

PUNTO 3 VERTIMIENTO MACHANGARA																
	Valor				Calificación q_i				Peso (w_i)				$q_i * w_i$			
Parámetro	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Oxígeno disuelto (OD)	1,79	1,88	1,97	1,82	20	23	27	22	0,17	0,17	0,17	0,17	3,4	3,91	4,59	3,74
Coliformes fecales	280	300	295	280	87	86	87	88	0,16	0,16	0,16	0,16	13,92	13,76	13,92	14,08
pH	7,32	7,63	7,74	7,64	92	90	88	90	0,11	0,11	0,11	0,11	10,12	9,9	9,68	9,9
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	53,79	73,5	60,3	20,8	22	8	18	60	0,11	0,11	0,11	0,11	2,42	0,88	1,98	6,6
Temperatura	19,8	22,3	22,35	21,2	80	78	78	80	0,1	0,1	0,1	0,1	8	7,8	7,8	8
Nitratos	0,21	0,18	0,14	0,19	91	92	94	93	0,1	0,1	0,1	0,1	9,1	9,2	9,4	9,3
Fosfatos	2,95	3,24	2,82	2,9	70	68	72	70	0,1	0,1	0,1	0,1	7	6,8	7,2	7
Sólidos totales (o conductividad)	525	518	534,5	454	75	75	74	82	0,15	0,15	0,15	0,15	11,25	11,25	11,1	12,3
ICA													65,21	63,5	65,67	70,92

Fuente: elaboración propia

A continuación, se realiza el cálculo del ICA para el **punto 3 Vertimiento Machángara**.

Fórmula general del Índice de Calidad del Agua (ICA - NSF):

Año 2020

$$ICA = \sum(q_i \times w_i) / \sum w_i$$

$$ICA = (20 \times 0.17) + (87 \times 0.16) + (92 \times 0.11) + (22 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (91 \times 0.1) + (70 \times 0.1) + (75 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.40 + 13.92 + 10.12 + 2.42 + 8.00 + 9.10 + 7.00 + 11.25 / 1.00$$

$$ICA = \boxed{65.21} \text{ REGULAR}$$

Año 2021

$$ICA = (23 \times 0.17) + (86 \times 0.16) + (90 \times 0.11) + (8 \times 0.11) + (78 \times 0.1) + (92 \times 0.1) + (68 \times 0.1) + (76 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.91 + 13.76 + 9.90 + 0.88 + 7.80 + 9.20 + 6.80 + 11.40 / 1.00$$

$$ICA = \boxed{63.65} \text{ REGULAR}$$

Año 2022

$$ICA = (27 \times 0.17) + (87 \times 0.16) + (88 \times 0.11) + (18 \times 0.11) + (78 \times 0.1) + (94 \times 0.1) + (72 \times 0.1) + (74 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 4.59 + 13.92 + 9.68 + 1.98 + 7.80 + 9.40 + 7.20 + 11.10 / 1.00$$

$$ICA = \boxed{65.67} \text{ REGULAR}$$

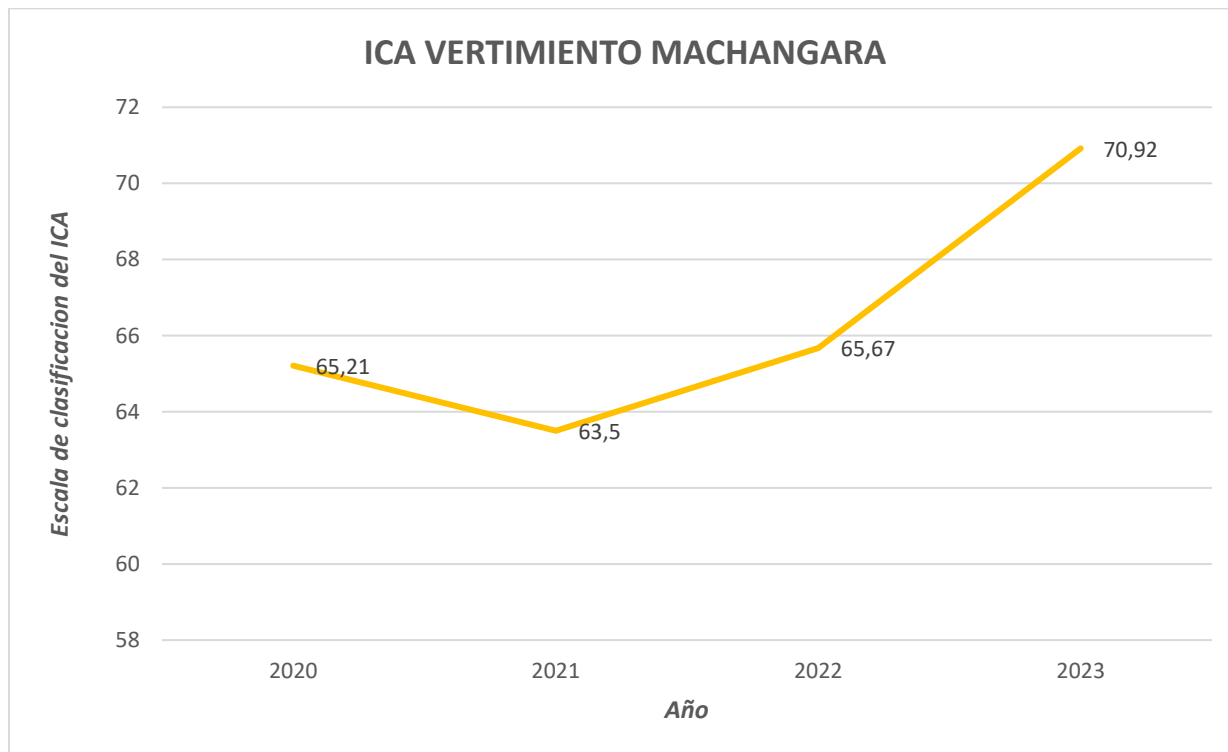
Año 2023

$$ICA = (22 \times 0.17) + (88 \times 0.16) + (90 \times 0.11) + (60 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (93 \times 0.1) + (70 \times 0.1) + (82 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.74 + 14.08 + 9.90 + 6.60 + 8.00 + 9.30 + 7.00 + 12.30 / 1.00$$

$$ICA = \boxed{70.92} \text{ BUENA}$$

Figura 12. Cálculo del ICA punto 3 Vertimiento Machángara



Fuente: Elaboración propia

el ICA en el año 2020 reporto un 65.21, lo cual evidencia una calificación regular, se evidencia que los niveles de oxígeno disuelto son bajos, y la carga orgánica sigue siendo un poco alta, lo cual muestra que los cuerpos de agua comienzan a verse afectados por el impacto de la actividad humana, generando consigo alarmas y cambios en el ecosistema acuático.

El ICA en el año 2021, mostro una baja leve de 63.65, es importante mencionar que, aunque algunos parámetros como el pH y los coliformes mejoraron, la alta demanda bioquímica de oxígeno y el aumento en la temperatura, fueron las causales más probables de que el ICA presentara esta baja, cabe la pena mencionar que no solo basta con cuidar uno o dos aspectos del agua, ya que su calidad depende en gran medida de todos los factores interconectados.

En el año 2022, el índice mejoro en un 65.67, una cifra la cual reflejaba una leve recuperación, mejorando consigo los niveles de oxígeno disuelto, nitratos, y la conductividad,

también evidencio una estabilidad, del mismo modo, la carga orgánica sigue siendo un problema debido a que este parámetro afecta en gran medida la calidad del líquido.

El año 2023, se evidencio una mejora notable y significativa, ya que el ICA alcanzó los 70.92, acercándose a la categoría de buena calidad, este resultado evidencia que se presentaron condiciones climáticas favorables, debido a que el efecto de las lluvias contribuyo a incrementar el caudal en el sistema de alcantarillado mixto, lo cual aumento la capacidad de dilución de los contaminantes presentes en el vertimiento.

Tabla 10. Índice de Calidad del Agua (ICA) – Punto 4 Vertimiento Minuto de Dios

PUNTO 4 VERTIMIENTO MINUTO DE DIOS																
	Valor				Calificación q_i				Peso (w_i)				$q_i * w_i$			
<i>Parametro30</i>	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Oxígeno disuelto (OD)	1,2	1,15	1,45	2,21	12	10	18	30	0,17	0,17	0,17	0,17	2,04	1,7	3,06	5,1
Coliformes fecales	400	380	370	460	80	83	84	75	0,16	0,16	0,16	0,16	12,8	13,28	13,44	12
pH	5,58	7,14	6,34	7,39	50	89	80	91	0,11	0,11	0,11	0,11	5,5	9,79	8,8	10,01
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	51,07	81,13	33,71	39,31	24	6	45	38	0,11	0,11	0,11	0,11	2,64	0,66	4,95	4,18
Temperatura	18,65	21,2	20,36	19,95	75	80	78	80	0,1	0,1	0,1	0,1	7,5	8	7,8	8
Nitratos	0,23	0,22	0,19	0,14	90	90	92	94	0,1	0,1	0,1	0,1	9	9	9,2	9,4
Fosfatos	2,98	3,54	3,66	3,88	72	66	64	60	0,1	0,1	0,1	0,1	7,2	6,6	6,4	6
Sólidos totales (o conductividad)	39,43	70	20	30	98	90	99	98	0,15	0,15	0,15	0,15	14,7	13,5	14,85	14,7
<u>ICA</u>													61,38	62,53	68,5	69,39

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realiza el cálculo del ICA para el punto 6 Vertimiento Minuto de Dios.
Fórmula general del Índice de Calidad del Agua (ICA - NSF):

Año 2020

$$ICA = \sum(q_i \times w_i) / \sum w_i$$

$$ICA = (20 \times 0.17) + (87 \times 0.16) + (92 \times 0.11) + (22 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (91 \times 0.1) + (70 \times 0.1) + (75 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.40 + 13.92 + 10.12 + 2.42 + 8.00 + 9.10 + 7.00 + 11.25 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{65.21} \text{ REGULAR}$$

Año 2021

$$ICA = (10 \times 0.17) + (83 \times 0.16) + (89 \times 0.11) + (6 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (90 \times 0.1) + (66 \times 0.1) + (90 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 1.70 + 13.28 + 9.79 + 0.66 + 8.00 + 9.00 + 6.60 + 13.50 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{62.53} \text{ REGULAR}$$

Año 2022

$$ICA = (18 \times 0.17) + (84 \times 0.16) + (80 \times 0.11) + (45 \times 0.11) + (78 \times 0.1) + (92 \times 0.1) + (64 \times 0.1) + (99 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.06 + 13.44 + 8.80 + 4.95 + 7.80 + 9.20 + 6.40 + 14.85 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{68.50} \text{ REGULAR}$$

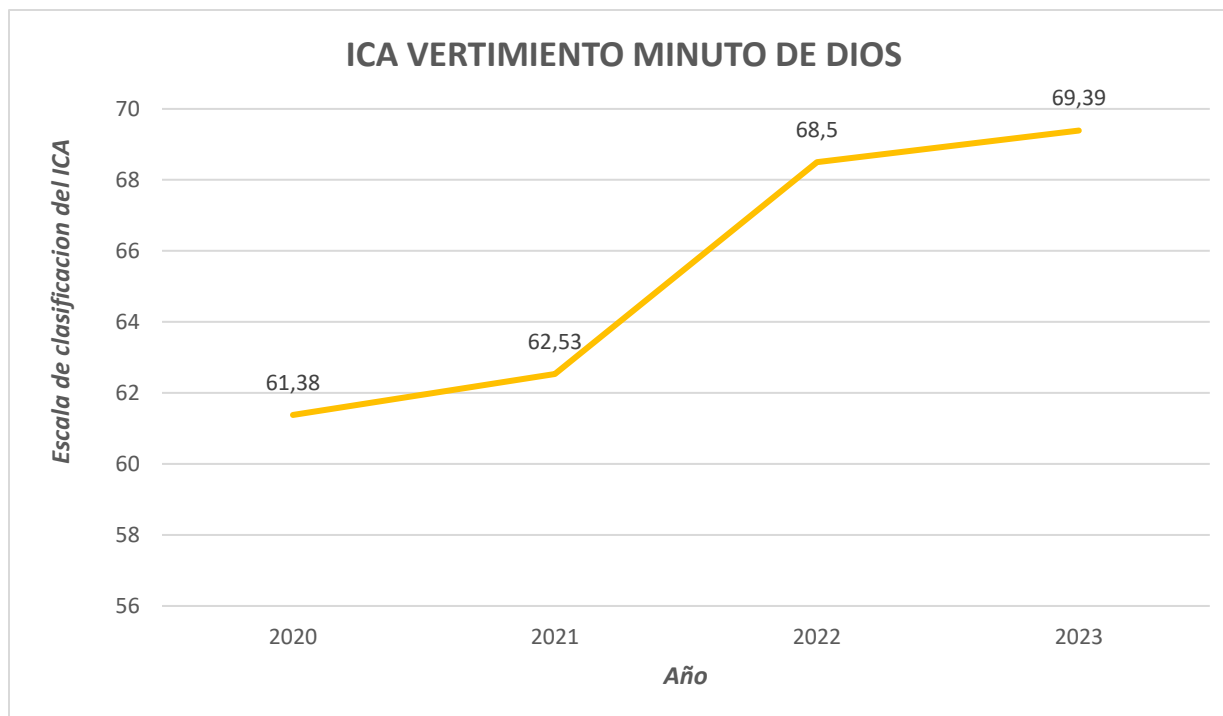
Año 2023

$$ICA = (30 \times 0.17) + (75 \times 0.16) + (91 \times 0.11) + (38 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (94 \times 0.1) + (60 \times 0.1) + (98 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 5.10 + 12.00 + 10.01 + 4.18 + 8.00 + 9.40 + 6.00 + 14.70 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{69.39} \text{ REGULAR}$$

Figura 13. Cálculo del ICA punto 4 Vertimiento Minuto de Dios



Fuente: Elaboración propia

El ICA en el año 2020 presento una puntuación de 61.38 lo cual evidencia que la calidad del agua es regular, mostrando que este año se encuentra marcado por un leve impacto en el ecosistema acuático, por muchas prácticas acumuladas como las descargas de aguas residuales hospitalarias sin tratamiento previo provenientes del hospital Susana López de Valencia, el uso continuo de sustancias como hipoclorito de sodio, yodo o amonios cuaternarios para realizar procesos de asepsia o descargas de sustancias químicas y medicamentos, Estas sustancias pueden elevar los niveles de DQO, DBO y sólidos disueltos deteriorando la calidad del agua. lo cual incrementa naturalmente la generación de aguas residuales con alta carga contaminante, además se debe tener en cuenta que en ese año se presentó la pandemia del Covid-19, lo cual obligo a las personas a estar en un confinamiento masivo de la población en sus hogares, esta situación genero un aumento significativo en el consumo de agua y en consecuencia una mayor producción de aguas residuales domésticas, cargadas de materia orgánica, detergentes, desechos alimenticios y productos de limpieza y desinfección.

En el año 2021, se presentó una leve mejora de 1.15 pasando a 62.53, lo cual evidencia que se sigue manteniendo los niveles similares, lo cual muestra una persistencia de las condiciones

críticas, como la alta demanda bioquímica de oxígeno por la presencia continua de materia orgánica biodegradable, lo cual genera una alta demanda de oxígeno por parte de los microorganismos que reducen en gran medida el oxígeno disuelto necesario, adicionalmente el aumento en la temperatura son una de las pocas causales para que se presente un crecimiento pequeño u poco significativo.

El año 2022 el ICA mostro una recuperación notoria pasando a 68.5, un poco más de 6 puntos con relación al año 2021, lo cual puede atribuirse a la implementación de buenas prácticas ambientales dentro del hospital, como un mejor manejo de aguas residuales, uso racional de químicos y mantenimiento adecuado de trampas y filtros, también es posible que la mejora haya estado influenciada por fenómenos naturales. En particular, las fuertes lluvias registradas ese año pudieron haber generado un efecto de dilución en los cuerpos receptores, disminuyendo temporalmente la concentración de contaminantes en el agua.

Por último, en el año 2023, el ICA presento una mejora de 69.39, evidenciando que aun la calidad del agua presenta una calificación aceptable, pero con una mejora un poco significativa en el cuatrienio analizado, lo cual invita a seguir trabajando conjuntamente en mantener buenos hábitos en cuanto al manejo del agua.

Tabla 11. Índice de Calidad del Agua (ICA) – Punto 5 Vertimiento Cámara 23.

PUNTO 5 VERTIMIENTO Cámara 23																
	Valor				Calificación q_i				Peso (w_i)				$q_i * w_i$			
Parámetro	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023	2020	2021	2022	2023
Oxígeno disuelto (OD)	2,15	1,58	1,98	1,8	28	28	28	21	0,17	0,17	0,17	0,17	4,76	4,76	4,76	3,57
Coliformes fecales	190	250	235	205	88	87	87	89	0,16	0,16	0,16	0,16	14,08	13,92	13,92	14,24
pH	7,1	7,55	7,73	7,91	90	88	88	87	0,11	0,11	0,11	0,11	9,9	9,68	9,68	9,57
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	236,09	150,4	178,6	131,9	1	2	2	5	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,22	0,22	0,55
Temperatura	18,9	22,05	21,6	21,35	75	80	80	80	0,1	0,1	0,1	0,1	7,5	8	8	8
Nitratos	0,2	0,198	0,192	0,195	92	93	93	92	0,1	0,1	0,1	0,1	9,2	9,3	9,3	9,2
Fosfatos	3,58	3,6	3,8	3,72	65	62	62	65	0,1	0,1	0,1	0,1	6,5	6,2	6,2	6,5
Sólidos totales (o conductividad)	394,07	115,5	79,8	70,24	86	91	91	90	0,15	0,15	0,15	0,15	12,9	13,65	13,65	13,5
<u>ICA</u>													64,95	65,73	65,73	65,13

Fuente: elaboración propia

A continuación, se realiza el cálculo del ICA para el punto 8 Vertimiento Cámara 23.

Fórmula general del Índice de Calidad del Agua (ICA - NSF):

Año 2020

$$ICA = \sum(q_i \times w_i) / \sum w_i$$

$$ICA = (28 \times 0.17) + (88 \times 0.16) + (90 \times 0.11) + (1 \times 0.11) + (75 \times 0.1) + (92 \times 0.1) + (65 \times 0.1) + (86 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 4.76 + 14.08 + 9.90 + 0.11 + 7.50 + 9.20 + 6.50 + 12.90 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{64.95} \text{ REGULAR}$$

Año 2021

$$ICA = (19 \times 0.17) + (86 \times 0.16) + (91 \times 0.11) + (4 \times 0.11) + (78 \times 0.1) + (92 \times 0.1) + (66 \times 0.1) + (93 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.23 + 13.76 + 10.01 + 0.44 + 7.80 + 9.20 + 6.60 + 13.95 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{64.99} \text{ REGULAR}$$

Año 2022

$$ICA = (28 \times 0.17) + (87 \times 0.16) + (88 \times 0.11) + (2 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (93 \times 0.1) + (62 \times 0.1) + (91 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 4.76 + 13.92 + 9.68 + 0.22 + 8.00 + 9.30 + 6.20 + 13.65 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{65.73} \text{ REGULAR}$$

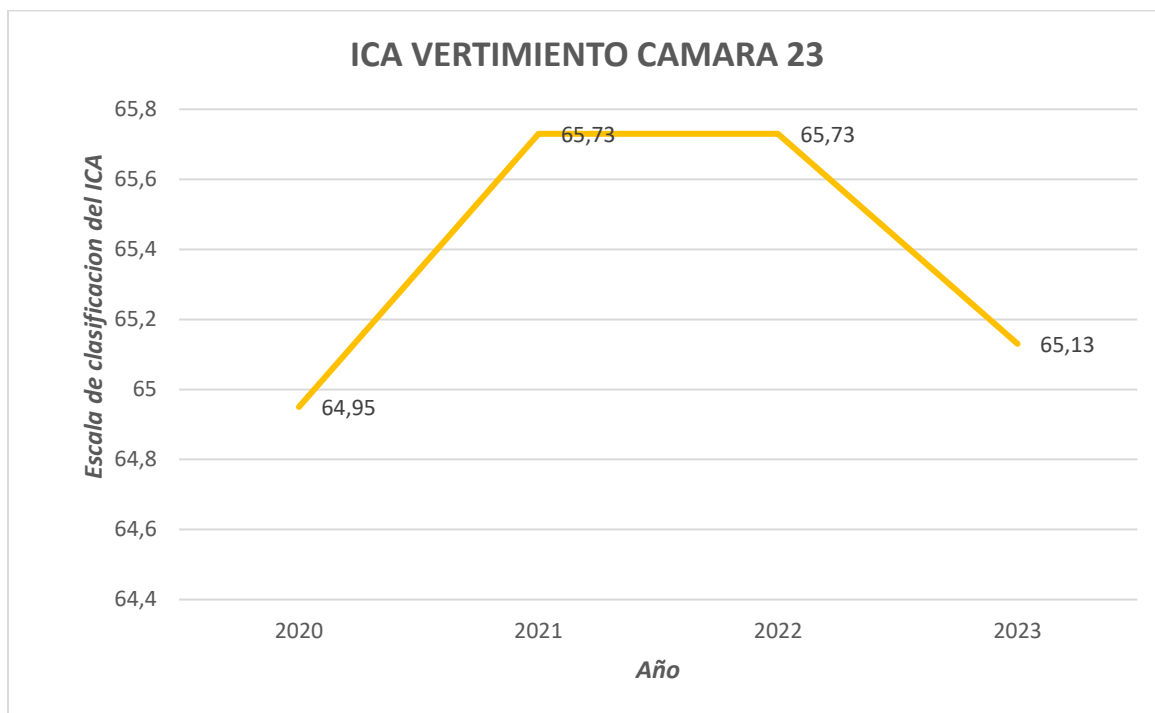
Año 2023

$$ICA = (21 \times 0.17) + (89 \times 0.16) + (87 \times 0.11) + (5 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (92 \times 0.1) + (65 \times 0.1) + (90 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 3.57 + 14.24 + 9.57 + 0.55 + 8.00 + 9.20 + 6.50 + 13.50 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{65.13} \text{ REGULAR}$$

Figura 14. Cálculo del ICA punto 5 Vertimiento Cámara 23



Fuente: Elaboración propia

El ICA en el año 2020 reportó un 64.95, a pesar de que el pH se encuentra en un rango estable junto con los coliformes y conductividad, la carga orgánica es alarmante, evidenciando que el agua está sobrecargada, ya que presenta un alto grado de contaminación, esta situación se pudo haber presentado por la pandemia del COVID-19, la cual generó medidas de confinamiento obligatorio y elevó la producción de agua residual doméstica aumentando el DBO y DQO.

El ICA en el año 2021 registró una calificación de 65.73, un aumento leve en comparación con el año 2020, evidenciando que algunos de los parámetros analizados, siguen presentando efectos directos negativos en la calidad del agua, el oxígeno disuelto sigue presentando niveles altos, esto podría deberse a una mayor oxigenación natural por el caudal del cuerpo receptor o a fluctuaciones climáticas como lluvias esporádicas, así mismo, el vertimiento de aguas domésticas sin tratamiento y el manejo inadecuado de residuos, siguen impactando negativamente la calidad del recurso hídrico, motivo por el cual se deben realizar mejoras para evitar un deterioro mayor.

En el año 2022 el ICA reporto un valor similar al del año 2021 no presentando ninguna variedad, la persistencia de fuentes contaminantes activas, como descargas domiciliarias, sumado a las elevadas temperaturas reducen en gran medida el oxígeno, esto es un poco alarmante ya que los nitratos siguen mostrando una tendencia baja, la temperatura se encuentra un poco alta, y la demanda bioquímica sigue alta, lo cual puede indicar que el agua presenta una muy baja calidad.

Por último, el año 2023 muestra un decremento del ICA en un 63.13, dato que provoca preocupación por las altas cargas contaminantes que se están generando en este punto debido al crecimiento poblacional, la presión sobre los sistemas de alcantarillado y las actividades antrópicas provenientes del Centro Recreativo Guayacanes – Comfacauca, junto con la urbanización adyacente Parque de las Garzas, como lo son el uso de sanitarios, duchas, lavandería, restaurante y limpieza de canchas, además de una alta concurrencia de personas, vehículos y eventos puede generar una carga orgánica elevada y posible incremento de SST, DBO y DQO en los vertimientos cercanos. Así como factores climáticos como lluvias intensas que permiten la escorrentía superficial. Esto permite descifrar que la calidad del agua en cercanías a este punto es de baja calidad lo cual afecta no solo los ecosistemas sino a la comunidad que reside en cercanía a la fuente hídrica.

Tabla 12. Índice de Calidad del Agua (ICA) – Punto 6 Vertimiento La Isla.

PUNTO 6 VERTIMIENTO LA ISLA													
	<i>Valor</i>	<i>Calificación (qi)</i>				<i>Peso (wi)</i>				<i>qi * wi</i>			
<i>Parámetro</i>	<i>2023</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>
Oxígeno disuelto (OD)	2,65	30	32	28	35	0,17	0,17	0,17	0,17	5,1	5,44	4,76	5,95
Coliformes fecales	190	88	90	92	88	0,16	0,16	0,16	0,16	14,08	14,4	14,72	14,08
pH	7,46	48	89	83	90	0,11	0,11	0,11	0,11	5,28	9,79	9,13	9,9
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	130,5	1	4	8	6	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,44	0,88	0,66
Temperatura	20,85	72	79	78	80	0,1	0,1	0,1	0,1	7,2	7,9	7,8	8
Nitratos	0,22	91	91	90	91	0,1	0,1	0,1	0,1	9,1	9,1	9	9,1
Fosfatos	3,98	60	58	60	60	0,1	0,1	0,1	0,1	6	5,8	6	6
Sólidos totales (o conductividad)	60,5	88	91	96	95	0,15	0,15	0,15	0,15	13,2	13,65	14,4	14,25
<u>ICA</u>										60,07	66,52	66,69	67,94

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realiza el cálculo del ICA para el **punto 6 Vertimiento La Isla**.

Fórmula general del Índice de Calidad del Agua (ICA - NSF):

Año 2020

$$ICA = \sum(q_i \times w_i) / \sum w_i$$

$$ICA = (30 \times 0.17) + (88 \times 0.16) + (48 \times 0.11) + (1 \times 0.11) + (72 \times 0.1) + (91 \times 0.1) + (60 \times 0.1) + (88 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 5.10 + 14.08 + 5.28 + 0.11 + 7.20 + 9.10 + 6.00 + 13.20 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{60.07} \text{ REGULAR}$$

Año 2021

$$ICA = (32 \times 0.17) + (90 \times 0.16) + (89 \times 0.11) + (4 \times 0.11) + (79 \times 0.1) + (91 \times 0.1) + (58 \times 0.1) + (91 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 5.44 + 14.40 + 9.79 + 0.44 + 7.90 + 9.10 + 5.80 + 13.65 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{66.52} \text{ REGULAR}$$

Año 2022

$$ICA = (28 \times 0.17) + (92 \times 0.16) + (83 \times 0.11) + (8 \times 0.11) + (78 \times 0.1) + (90 \times 0.1) + (60 \times 0.1) + (96 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 4.76 + 14.72 + 9.13 + 0.88 + 7.80 + 9.00 + 6.00 + 14.40 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{66.69} \text{ REGULAR}$$

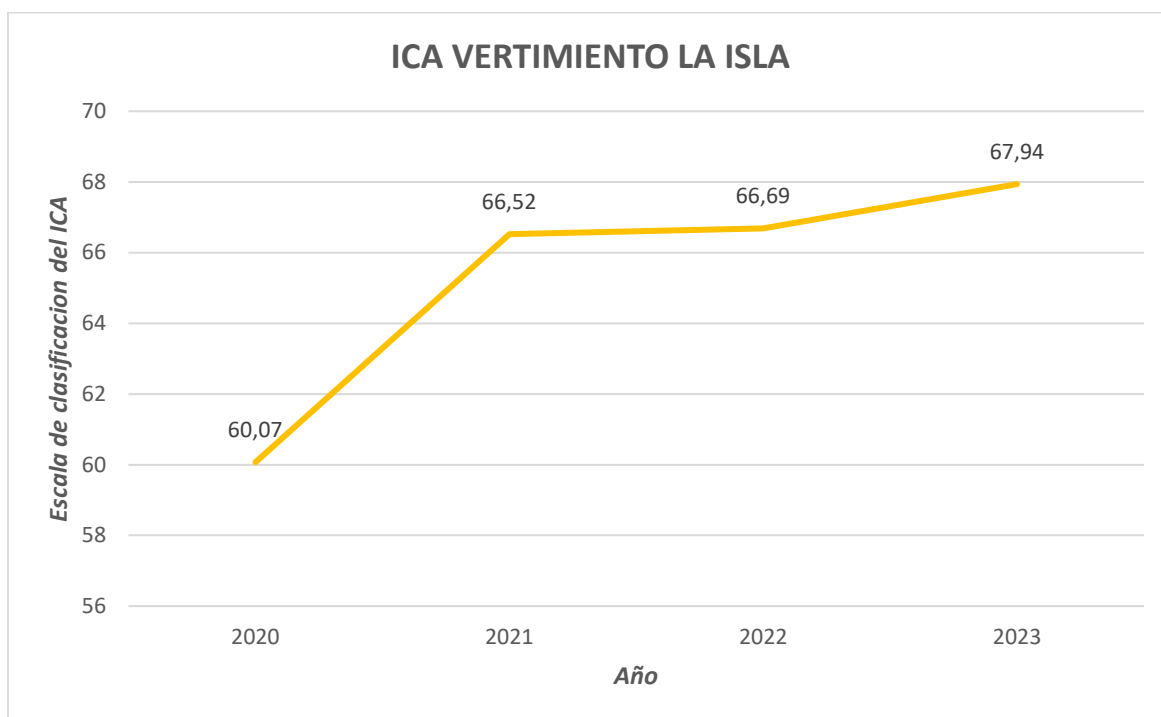
Año 2023

$$ICA = (35 \times 0.17) + (88 \times 0.16) + (90 \times 0.11) + (6 \times 0.11) + (80 \times 0.1) + (91 \times 0.1) + (60 \times 0.1) + (95 \times 0.15) / 1.00$$

$$ICA = 5.95 + 14.08 + 9.90 + 0.66 + 8.00 + 9.10 + 6.00 + 14.25 / 1.00$$

$$ICA = \mathbf{67.94} \text{ REGULAR}$$

Figura 15. Cálculo del ICA punto 6 Vertimiento La Isla.



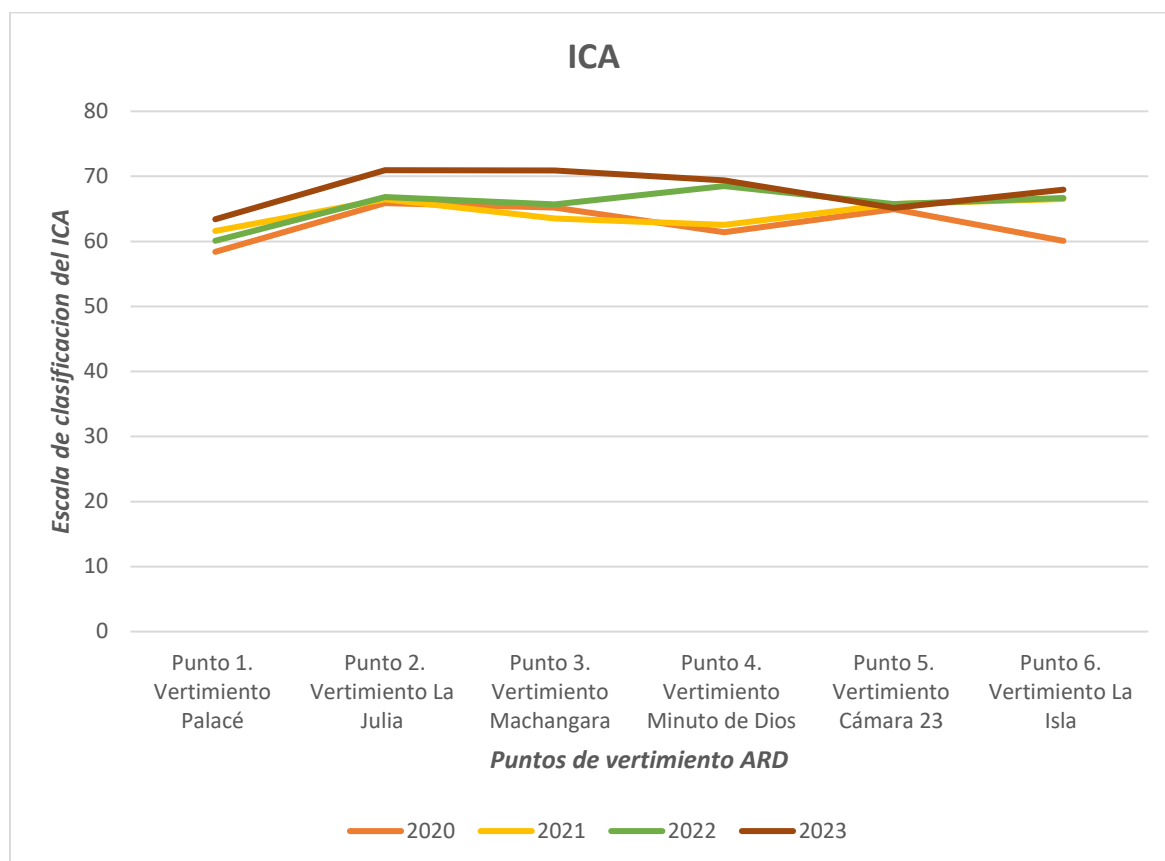
Fuente: Elaboración propia

El ICA en el año 2020 reporto un resultado de 60,07, uno de los valores más bajos los puntos analizados evidenciando que la calidad del agua es media, factores como una carga elevada de materia orgánica y un bajo nivel de oxígeno disuelto son los generadores de esta baja puntuación. En el año 2021 el índice de la calidad del agua presento una mejora pasando a 66,52, lo cual muestra que se realizaron mejores prácticas ambientales o que se presentaron condiciones climáticas favorables.

El ICA para el año 2022, se mantuvo en una línea muy similar a la del año anterior, aunque no se evidencia una mejora significativa, sí se refleja una cierta estabilidad en la calidad del agua.

Por último, en el año 2023, el valor alcanzó 67,94, lo que podría interpretarse como una señal de que las acciones de mitigación comienzan a consolidarse, como las campañas de sensibilización a empresas grandes y medianas y comunidad en general sobre el manejo del agua, disposición correcta de residuos y el adecuado manejo de las grasas vertidas, permiten que durante este año se pueda acercar al umbral de una buena calidad.

Figura 16. Cálculo del ICA en los puntos 1, 2, 3, 4, 5 y 6.



Fuente: Elaboración propia

PUNTO 1. VERTIMIENTO PALACÉ

En el año 2020 este punto el ICA marcó 58,39 el agua empieza a evidenciar señales de alarma, esto se debe básicamente a que en estos puntos se siguen presentando descargas de aguas residuales con altas concentraciones de DBO, DQO y Solidos Suspendidos, lo cual compromete la oxigenación del agua y su capacidad de autodepuración, adicionalmente las lluvias, aumenta el arrastre de residuos, mientras que en época en sequías, disminuye el caudal del río y por tanto su capacidad de dilución se ve reducida, elevando la concentración de contaminantes, este es el periodo más bajo del año, esta cifra indica que este punto quizá ha tenido la mayor presión en comparación con los demás, se caracteriza por recibir una alta carga de aguas residuales domésticas debido a que concentra los vertimientos generados en la zona norte de Popayán, una de las áreas con mayor densidad poblacional. Esta zona incluye numerosos barrios consolidados y

continúa en pleno proceso de expansión urbana, ya que actualmente la ciudad está creciendo significativamente hacia el norte. Esta dinámica urbanística implica no solo un aumento constante en la generación de vertimientos, sino también una mayor presión sobre los cuerpos de agua receptores, lo que convierte al punto Palace en un sitio estratégico para el monitoreo de la calidad del agua y la planificación de soluciones estructurales de saneamiento. Por otra parte, en los años siguientes se nota una mejoría en 2021 sube a 61,6, en 2022 baja a 60,09, y en 2023 aumenta alcanzando un 63,4, aunque sigue siendo el más bajo en comparación con los otros puntos, presenta una leve mejora, por lo cual se puede deducir que este punto es uno en los cuales se debe priorizar y crear una estrategia de mejoramiento continuo, esto se debe a lo ya mencionado anteriormente con respecto a la cantidad de aportes de aguas residuales domesticas que recibe este punto, además los factores climáticos como las lluvias arrasan una gran cantidad de residuos sobre el sistema de alcantarillado mixto, lo cual produce una escorrentía hacia los sistemas de drenaje.

PUNTO 2. VERTIMIENTO LA JULIA

En este punto se puede evidenciar una constante del ICA debido a que aún se mantiene en el rango regular, iniciando en el 2020 con un 65,88, y en los siguientes dos años mantiene un pequeño crecimiento de 66,48 y 66,84, respectivamente, y finalmente en el año 2023 el ICA llega a un 70,94. Lo cual muestra que el comportamiento de las comunidades frente al manejo del agua sigue siendo el mismo en cada uno de los periodos analizados y que lo que puede impactar a un crecimiento del valor del ICA sean cambios climáticos que permitan que fuertes lluvias aumenten los caudales y a su vez actúen para diluir y alterar las condiciones de los diferentes parámetros evaluados.

PUNTO 3. VERTIMIENTO MACHÁNGARA

El ICA muestra una estabilidad, aunque con mejoras notables, iniciando en el 2020 con un reporte de 65,21, en el siguiente año 2021 sufre una baja a 63,5, en el 2021 sube nuevamente a 65,67, y en el 2023 cierra con un 70,92, lo cual demuestra un crecimiento significativo clave, esta variación puede estar asociada con mejores prácticas ambientales o mejora en la condición climática, lo cual afecta de manera positiva la calidad del agua y los ecosistemas. Este vertimiento representa una fuente puntual de contaminación que influye directamente en la calidad del agua del río Cauca en ese tramo, afectando su estado físico-químico y microbiológico. La importancia

de este punto radica en que no existe ningún tipo de tratamiento previo antes del vertido, lo que aumenta la carga contaminante en el cauce principal y genera riesgos tanto ambientales como sanitarios aguas abajo.

PUNTO 4. VERTIMIENTO MINUTO DE DIOS

El resultado del ICA en este punto es uno de los más irregulares ya que en el año 2020 marca un 61,38, pasando en el 2021 a 62,53, y en el año 2022 presenta una mejora una poco significativa a 68,5, seguido con un leve aumento en el 2023 con un 69,39, lo cual evidencia que entre el año 2021 y 2022 se generó un mejor manejo del agua.

El punto de vertimiento #4 Minuto de Dios descarga sus aguas residuales domesticas sobre el río Ejido, el cual es un tributario del río Cauca. Aunque el impacto de este punto no es directo, sí tiene una influencia significativa sobre el río Cauca, ya que las aguas del río Ejido desembocan en él. Esto implica que los contaminantes presentes este punto también terminan llegando al Cauca, sumándose a la carga total del sistema hídrico. En este sentido, su monitoreo es esencial, ya que representa una fuente indirecta de presión contaminante que puede pasar desapercibida si no se considera la red de afluentes y su conectividad hídrica.

PUNTO 5. VERTIMIENTO CÁMARA 23

El ICA en este punto presente una constante en el cuatrienio analizado manteniéndose casi inmóvil ya que en el año 2020 se reportó un valor de 64,95, en el año 2021 presento una mejora de 65,73, en el año 2022 se mantuvo igual con el año anterior con un valor de 65,73, y por último en el año 2023 presento una leve caída a 65,13, por lo cual se puede deducir que la estabilidad puede ser buena siempre y cuando los rangos de calidad del agua se encuentren en los parámetros normales o de buena calidad, por último se puede deducir que este punto no refleja ninguna mejora, aunque no presenta señales de deterioro, tampoco demuestra señales de progreso.

PUNTO 6. VERTIMIENTO LA ISLA

Por último, en este punto de vertimiento el ICA muestra una evolución sostenida ya que en el año 2020 marca una calificación de 60,07, en el siguiente año 2021 muestra un salto a 66,52, en el año 2022 se mantiene constante con un 66,69 y en el año 2023 presenta una leve mejora a 67,94, con lo cual se puede argumentar que este punto ha presentado una mejora leve en el índice de

calidad del Agua, ya que inicio con una posición media-baja y cada año va aumentando de manera lenta pero constante.

Este último punto descarga sus aguas en el río Molino, el cual, a su vez, es un afluente importante del río Cauca. Y tiene una particular relevancia dentro del análisis, ya que recoge el aporte de al menos tres vertimientos aguas arriba, lo que significa que actúa como un punto integrador de contaminantes que se han acumulado a lo largo del recorrido del río Molino por la ciudad de Popayán. Dado que este río atraviesa zonas densamente pobladas y urbanizadas, su carga contaminante puede ser considerable. Por tanto, el punto La Isla se convierte en un tributario clave de carga contaminante al río Cauca, ya que concentra residuos domésticos, sedimentos y otros contaminantes generados por múltiples actividades antropogénicas a lo largo de su cauce. Esto evidencia la necesidad de controlar y tratar los vertimientos en la cuenca del río Molino para reducir el impacto ambiental y sanitario sobre el río Cauca, por lo cual se hace necesario que las entidades encargadas del control ambiental intervengan de inmediato, formulando estrategias con el firme propósito de mejorar la calidad del recurso hídrico.

6. Formular estrategias para la mitigación de los vertimientos de aguas domésticas en la cuenca del río Cauca del municipio de Popayán, con el fin de minimizar los impactos generados por el desarrollo de la actividad en el cuerpo receptor.

Según las proyecciones DANE 2025, la población en la ciudad de Popayán, paso de tener en 2019, 321.991 habitantes a tener en 2024, 343.011 habitantes, lo cual muestra un crecimiento de 1.22% anual, para un equivalente de 6.5% en los últimos 5 años así mismo, el crecimiento urbano de la ciudad de Popayán entre el 2019 y el 2024 conlleva al incremento de aguas residuales domésticas, las cuales terminan en la fuente hídrica del río Cauca, lo que más agrava esta situación es que no se están realizando ningún tipo de tratamientos por parte de las autoridades locales para mejorar y reducir el impacto ambiental que esto genera, esta problemática conlleva a crear un riesgo ambiental para el ecosistema acuático y terrestre, además de representar una problema de salud pública para la comunidad que reside en cercanías con el río, por tal motivo se hace vital el diseño de estrategias que puedan minimizar el impacto que estos vertimientos han causado y que puedan de la misma manera mejorar la calidad del agua, recuperando el ecosistema acuático y terrestre.

Por lo anteriormente mencionado se plantean las siguientes estrategias con el fin de mejorar la calidad del agua y el ecosistema.

1. Monitoreos participativos de calidad de agua

Esta estrategia tiene como propósito principal fortalecer el seguimiento de los parámetros de calidad del agua en puntos críticos del río Cauca y de sus dos principales afluentes que atraviesan el municipio de Popayán como lo son el río Ejido y el río Molino. La iniciativa busca establecer un sistema de monitoreo periódico que permita evaluar de forma continua la condición de la cuenca del río Cauca y así generar información útil para la toma de decisiones en materia ambiental.

Para ello, se plantea la capacitación técnica de los estudiantes que integran el semillero MIRH (Manejo Integral del Recurso Hídrico) de la Universidad Autónoma del Cauca, mediante un convenio de colaboración participativa con la Corporación Autónoma Regional del Cauca – CRC. Esta formación estará enfocada en el aprendizaje y la aplicación de metodologías para el muestreo y análisis básico de parámetros clave como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST), el pH, entre otros indicadores relevantes que permiten evaluar la presencia de contaminantes y el estado del agua.

Como parte de la estrategia, se realizarán campañas trimestrales de monitoreo en los principales puntos de vertimiento de aguas residuales domésticas del municipio de Popayán, priorizando aquellos sectores donde se ha evidenciado una mayor carga contaminante. Los datos recolectados serán sistematizados y analizados por los integrantes del semillero, quienes elaborarán informes ciudadanos de calidad del agua y desarrollarán mapas interpretativos que reflejen las condiciones actuales del sistema hídrico urbano. Con el fin de que la comunidad también pueda acceder a esta data y generar conciencia a partir de resultados.

Este proceso no solo permitirá contar con un seguimiento constante del comportamiento del recurso hídrico, sino que también fomentará la participación activa de la comunidad académica en la gestión ambiental del territorio, promoviendo una conciencia colectiva sobre la necesidad de proteger los cuerpos de agua y aportar soluciones desde el conocimiento científico y ciudadano. Esta estrategia es de tipo preventiva y el indicador para tener el control de su ejecución son los números de monitoreos realizados al año y la cantidad de muestras analizadas.

2. Educación ambiental comunitaria

El componente social es uno de los factores clave en todo proyecto ambiental, ya que a través de él es posible generar cambios sostenibles a largo plazo. Por esta razón, la implementación de campañas de sensibilización y educación ambiental sobre el uso responsable del agua y las buenas prácticas ambientales, iniciando por las instituciones educativas y población en general cercanas a los puntos de vertimiento con mayor carga contaminante y aporte a las fuentes hídricas, así se convierte en una de las estrategias más acertadas. Esta acción, de carácter preventivo, tiene como principal objetivo promover una cultura de cuidado del recurso hídrico y evitar, en lo posible, la disposición inadecuada de aguas residuales y residuos sólidos. Involucrar activamente a los habitantes no solo fortalecer la gestión comunitaria del agua, sino también empoderar a los ciudadanos para que se conviertan en actores clave del cambio.

En este sentido, la educación ambiental permite que la población comprenda con claridad los riesgos e impactos asociados al vertimiento indiscriminado de aguas residuales en las redes de alcantarillado, y los guía para adoptar medidas concretas que contribuyan a mitigar esta problemática, disminuyendo así su huella ecológica. Las jornadas educativas estarían dirigidas inicialmente a los barrios con mayor carga de vertimientos, empleando un lenguaje sencillo, accesible y libre de tecnicismos, que garantice la comprensión de todos los públicos. Además, se implementarán materiales visuales y gráficos por medio de folletos físicos y publicaciones digitales en redes sociales, que muestren de forma tangible la situación actual de las fuentes hídricas y los escenarios a los que podríamos llegar si no se actúa de manera responsable.

Paralelamente, se impulsarán campañas sobre el uso de productos biodegradables y no tóxicos, así como procesos de capacitación para la correcta separación de residuos sólidos desde el origen, es decir, en cada hogar. Esta estrategia sería liderada por la Alcaldía Municipal y la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC), en articulación con las Juntas de Acción Comunal de cada sector y en convenio con el grupo del semillero MIRH (Manejo Integral del Recurso Hídrico) de la Universidad Autónoma del Cauca, generando así una sinergia entre las entidades gubernamentales, la academia y la comunidad, como base para la sostenibilidad ambiental del municipio.

3. Gestión institucional y normativa

Se hace fundamental fortalecer el trabajo articulado entre la administración municipal, el acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P. y los entes de control ambiental en este caso la corporación autónoma regional de cauca CRC con el objetivo de garantizar la adecuada gestión de las aguas residuales en el municipio de Popayán. En este sentido, es prioritario realizar un seguimiento riguroso a la ejecución del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos (PSMV) por parte de la empresa prestadora del servicio de acueducto y alcantarillado, verificando que dicho plan se cumpla conforme a lo establecido en el Decreto 1090 de 2018, el cual reglamenta su elaboración, implementación y actualización. Este instrumento debe estar alineado con las políticas nacionales de gestión del recurso hídrico y con lo establecido en el Plan Nacional de Desarrollo, promoviendo la conservación, tratamiento y disposición adecuada de las aguas residuales.

Así mismo, todas las instituciones y grandes generadores de vertimientos líquidos como universidades, colegios, hospitales, centros recreativos, empresas industriales y comerciales están obligados a implementar de forma activa y permanente un Plan de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA), conforme a lo exigido en el Decreto 3930 de 2010, que reglamenta el uso, manejo y vertimiento del recurso hídrico. Este plan debe contener medidas de control, ahorro, reducción del consumo y aprovechamiento del agua, así como acciones para prevenir y mitigar impactos ambientales.

Adicionalmente, de acuerdo con lo estipulado también en el Decreto 3930 de 2010, ninguna fuente generadora de vertimientos líquidos puede descargar sus aguas residuales directamente a cuerpos hídricos sin antes someterlas a un tratamiento que cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 0631 de 2015 (modificada por la Resolución 1207 de 2014 para aguas residuales domésticas), los cuales deben ser evaluados mediante parámetros como DBO, DQO, SST, pH, entre otros. Por tanto, cada institución que genere aguas residuales tiene la obligación de contar con un sistema de tratamiento previo a su descarga, garantizando así la protección de los ecosistemas acuáticos y el cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Por lo tanto, esta estrategia sería de tipo correctiva porque busca subsanar una situación actual de incumplimiento ambiental (descarga sin tratamiento adecuado). Y a su vez preventiva porque al implementar el PUEAA y dar cumplimiento al PSMV, se evita que la contaminación

aumente con el crecimiento poblacional y urbanístico. Por lo tanto, los indicadores serian el porcentaje (%) de avance en la ejecución del PSMV del municipio de Popayán, el número de instituciones actualizando e implementando el PUEAA y el porcentaje (%) y total de fuentes generadoras que realizan tratamiento previo al vertimiento.

4. Sistemas piloto de tratamiento de aguas residuales domesticas

TRATAMIENTO TEMPORAL – en punto especifico alternativas. 1 sistemas de tratamiento secundario rejillas – trampa de grasas – FAFA – tanque septico – en puerto solo aplican insumo químico.

Como medida correctiva de bajo costo y rápida implementación, se propone el diseño e instalación de sistemas piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas vulnerables de Popayán. Esta estrategia se enfoca en soluciones descentralizadas, como filtros naturales, humedales caseros, trampas de grasa y biodigestores, que pueden construirse con materiales locales y adaptarse a las condiciones específicas de cada hogar. Su bajo requerimiento técnico y financiero permite ejecutarlas en comunidades con acceso limitado a infraestructura sanitaria formal. Además, estos sistemas ayudan a reducir significativamente la carga contaminante vertida en cuerpos de agua, especialmente en sectores donde no hay cobertura de alcantarillado ni tratamiento previo.

Para optimizar la intervención, se interpondrá un plan de acción territorial que permita identificar y priorizar aquellas zonas de la ciudad que generen mayor afectación ambiental por sus vertimientos de aguas residuales domésticas. Esto permitirá organizar la ejecución por sectores, avanzando de forma progresiva según el nivel de impacto, facilitando la logística y el acompañamiento comunitario.

Para garantizar su efectividad, se realizarán monitoreos periódicos de los parámetros contaminantes (DBO, DQO, SST), fomentando así la participación comunitaria y la apropiación de estas tecnologías. Esta alternativa no solo es viable económicamente, sino que también fortalece la conciencia ambiental desde el núcleo familiar, convirtiéndose en una herramienta de empoderamiento ciudadano para mejorar la calidad del agua en el municipio de Popayán y en general las condiciones de la cuenca del río Cauca.

Hay 2 formas de financiar esta estrategia que traerá grandes beneficios a la calidad del agua del río Cauca. La primera es la cooperación internacional por medio de ONG como WWF, GIZ, Fundación Natura, Water For People que se encargan de financiar o cofinanciar iniciativas y proyectos pilotos comunitarios que respeten a temas de recurso hídrico y saneamiento

Por otro lado, se pueden implementar estrategias comunitarias y de autogestión a cargo de juntas de acción comunal con el fin de realizar mano de obra comunitaria para reducir costos de instalación con capacitaciones previas. Además, se puede reciclar materiales locales como la piedra, arena, plástico reciclado para filtros o biodigestores.

Y finalmente promover como comunidad la responsabilidad social empresarial por medio de campañas de donación con empresas locales como constructoras, centros comerciales, cadenas de supermercados, logrando que pueden aportar recursos a cambio de certificación ambiental o visibilidad social o si en la zona se encuentran entidades (empresas privadas, juntas comunales, universidades) que generen vertimientos pueden aportar al proyecto como parte de su compensación ambiental.

5. Restauración ecológica y protección de rondas hídricas

La restauración ecológica y la protección de las rondas hídricas se presenta como una estrategia de mitigación clave para mejorar la resiliencia del ecosistema y prevenir el vertimiento directo de aguas residuales en los cuerpos de agua. Esta acción contempla la realización de jornadas periódicas de siembra de especies nativas en las riberas del río Cauca y sus afluentes, contribuyendo así a la recuperación de la cobertura vegetal y al fortalecimiento de los procesos naturales de filtración del suelo. Asimismo, se propone el establecimiento de barreras vegetales con función de biofiltración, que actúen como defensa natural frente al arrastre de contaminantes y sedimentos hacia el cauce. Como indicadores de seguimiento se propone medir el número de metros lineales de ronda restaurados y el total de especies vegetales sembradas, lo cual permitirá evaluar el avance y efectividad de las acciones implementadas en términos ecológicos y ambientales.

Estas jornadas pueden ser lideradas por las juntas de acción comunal en conjunto con las autoridades ambientales y secretarías municipales que aporten los insumos necesarios para llevarlas a cabo.

7 conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

El diagnóstico de la situación actual de los vertimientos de origen domestico en el rio Cauca, evidencia una presión constante sobre el recurso hídrico, ocasionada principalmente por descargas directas e insuficientes de aguas residuales domiciliarias, sin ningún tipo de tratamiento, adicionalmente, según los informes del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P, se puede observar que algunos puntos de descarga presentan una mayor carga contaminante, ya que sus parámetros se encuentran por fuera del rango establecido por la resolución 6105 del 2015. Por otra parte, la presencia de redes de alcantarillado mixto, junto con la carencia de una (PTAR), agravan más la situación de la fuente hídrica, comprometiendo drásticamente el ecosistema acuático.

Al calcular el Índice de Calidad de Agua ICA en 6 de los 9 puntos de vertimiento que desembocan directamente en el río Cauca se obtuvo un valor entre el 50 – 70 lo que demuestra que la calidad del agua en esta fuente hídrica, se clasifica en un rango regular según los criterios establecidos por el IDEAM, este resultado muestra que el rio Cauca presenta una carga contaminante significativa, producto del vertimiento constante de aguas residuales sin un tratamiento adecuado, así mismo, su nivel de contaminación no solo afecta l ecosistema y la vida acuática, sino que también presenta una barrera para las actividades agrícolas e industriales debido a que deben realizar el tratamiento de estas aguas para su uso, estas variables analizadas, representan un impacto ambiental continuo sobre el cauce del rio, y requiere de una acción oportuna para evitar que el cuerpo hídrico se siga deteriorando en los próximos años.

La carga contaminante que llega directamente al caudal del río Cauca, proveniente de hospitales, estaciones de servicio, industrias, viviendas entre otras, genera un riesgo ambiental y de salud pública para la comunidad en general, la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, es la entidad encargada de realizar el cobro de la tasa retributiva al Acueducto y Alcantarillado de Popayán, por los vertimientos que realiza al recurso hídrico. Esta tasa que supera los 10 mil millones de pesos por año, posteriormente es trasladada a los usuarios a través del recibo mensual del servicio de agua, afectando de manera directa e indirecta la economía de los hogares payaneses, especialmente en aquellos en condición de vulnerabilidad.

La falta de una planta de tratamiento de aguas residuales para el manejo de aguas residuales domésticas, sumada a la falta de conciencia y educación ambiental, la falta de recursos financieros entre otros, son factores que no permiten que la calidad del agua mejore y agravan su deterioro progresivo, esta falta de tratamientos obligatorios perjudica no solo el ecosistema y vida acuática, sino que también genera un problema de salud pública a las comunidades que residen en cercanías con el caudal del río.

7.2 Recomendaciones

Implementar campañas de sensibilización, con el fin de mostrar a la comunidad los diferentes aspectos de saneamiento básico y ambiental, manejo y conservación de las fuentes hídricas, con el fin de que puedan identificar los factores que más contaminación generan en el agua, y a su vez les permita realizar campañas de mejoramiento para promover el desarrollo sostenible.

Es importante impulsar un sistema de información ambiental comunitaria. Con base en los datos obtenidos por el semillero MIRH y las campañas de monitoreo, se podría consolidar una plataforma o boletín ciudadano de calidad del agua que se actualice periódicamente y sea de fácil acceso para la comunidad. Esto fortalecerá la transparencia, la conciencia ambiental y el control social.

Se recomienda a las entidades reguladoras como la CRC (Corporación Autónoma Regional del Cauca), por parte del equipo de gestión ambiental y recurso hídrico de esta entidad ejercer un estricto control sobre los contaminantes peligrosos como el vertimiento de agroquímicos, infiltración de aguas residuales y la mala disposición de residuos sólidos para evitar en un futuro la contaminación difusa de las aguas subterráneas, ya que esta entidad es la encargada de supervisar y hacer cumplir la normatividad vigente, todo ello con el fin de mejorar en gran medida la vida de las futuras generaciones.

También se pueden incluir incentivos o reconocimientos por buenas prácticas ambientales. Reconocer a las instituciones, comunidades o empresas que implementen sistemas de tratamiento, planes de ahorro de agua o actividades de restauración mediante certificaciones ambientales, visibilidad en medios o estímulos tributarios, puede fomentar la replicación de estas acciones.

Sensibilizar a la comunidad en general, sobre los efectos que causa en el agua el vertimiento de forma directa en el alcantarillado de aceites y grasas, generados por las actividades de

preparación de alimentos en las viviendas y en restaurantes de las diferentes instituciones, los cuales son unos de los mayores contaminantes del agua y lo que más efectos traen a los ecosistemas acuáticos.

8. Referencias Bibliográficas

- Alberto, S. C. C., & Faber, C. R. J. (2019). *Evaluación ambiental de la planta de tratamiento de agua residual del frigorífico ubicada en el barrio la plazuela del municipio de Restrepo Meta*. Repositorio Institucional Universidad Cooperativa de Colombia. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/14397>
- Betancur-Vargas, T., García-Giraldo, D. A., Vélez-Duque, A. J., Gómez, A. M., Flórez-Ayala, C., Patiño, J., & Ortiz-Tamayo, J. Á. (2017). 1) Aguas subterráneas, humedales y servicios ecosistémicos en Colombia. *Biota Colombiana*, 18(1), 1-28. <https://doi.org/10.21068/c2017.v18n01a1>
- Cardenas, C., & Luisa, M. (2019). Aprendemos la importancia del agua para los seres vivos. Universidad Nacional de Trujillo. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13406>
- De las Mercedes Grijalva Endara, A., Heinert, M. E. J., & Solórzano, H. X. P. (2020). Contaminación del agua y aire por agentes químicos. *RECIMUNDO*, 4(4), 79-93. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.79-93](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.79-93)
- Dulcey, S., & Liliana, S. (2020). *La minería ilegal un impacto ambiental que afecta los ríos Esmita y Bojoleo*. http://repository.libertadores.edu.co/bitstream/11371/2598/1/Segura_Sandra_2019.pdf
- Fúquene, D. M., Chaves, C. M. D., Yate-Segura, A., Giraldo, D. A. P., Salomón, J. S. C., López, C. F. V., & Ausique, V. F. F. (2019). Tratamiento de aguas residuales. En *Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD eBooks* (pp. 146-171). <https://doi.org/10.22490/9789586516358.08>
- Franco, L. F. L., Muñoz, P. T. L., & García, F. G. M. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA y ANIMAL. *Biotechnología En el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Gil-Marín, J. A., Vizcaino, C., & Montaña-Mata, N. J. (2018). Evaluación de la calidad del agua superficial utilizando el índice de calidad del agua (ICA). Caso de estudio: Cuenca del Río Guarapiche, Monagas, Venezuela. *Anales Científicos*, 79(1), 111.

- González, M. M. V. (2023). Riqueza de especies y biodiversidad edáfica de una zona de humedales del Parque Nacional Arrecife de Puerto Morelos, Quintana Roo, México [Conjunto de datos]. En *Global Biodiversity Information Facility*. <https://doi.org/10.15468/8fwl4l>
- Inga, M. I. N., Garcia, A. C. V., Niquen, Y. A. H., & Tinedo, R. W. S. (2021). Vertimiento de aguas residuales de la ciudad de Tumbes y disminución de la biodiversidad florística. *RECIAMUC*, 5 (3), 196-207. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/5.\(3\).agosto.2021.196-207](https://doi.org/10.26820/reciamuc/5.(3).agosto.2021.196-207)
- José-Bracho, G., Cuador-Gil, J. Q., & Rodríguez-Fernández, R. M. (2016). Calidad del agua y sedimento en el lago de Maracaibo, estado Zulia. *DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals)*. <https://doaj.org/article/2712948389624414a67c0e0a38f24398>
- López, J. R. (2016). *Adaptación de microalgas a contaminantes antropogénicos emergentes: aplicaciones*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=241613>
- Manrique, D., & Alvaro, F. (2019). Diagnóstico de la calidad del agua y diseño de propuesta de solución para la zona crítica establecida mediante el índice de calidad de agua (Ica) en el Río Colca. En *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://190.119.145.154/handle/UNSA/11174>
- Moncada, J. A. B., & García, I. L. H. (2019). Proceso de acidificación de las precipitaciones de Managua. *Revista Científica de FAREM-Esteli*, 31, 72-80. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i31.8472>
- Montero-Vega, F. S., Molina-Cedeño, C. S., Pillco-Herrera, B. M., Sarduy-Pereira, L. B., & Diéguez-Santana, K. (2020). Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Ciencia Ambiente y Clima* 3(1), 23-39. <https://doi.org/10.22206/cac.2020.v3i1.pp23-39>
- Otero-Durán, I., & Piniero, M. (2019). Avances y retos en el accionar del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para controlar la deforestación en la Amazonía Colombiana. *Espacio y Desarrollo*, 33, 91-116. <https://doi.org/10.18800/espacioydesarrollo.201901.005>
- Quiroga, L. M. S., & Pacheco, L. P. P. (2018). Remoción de ácido sulfhídrico por microorganismos sobre lodos activados en aguas residuales de la industria alimenticia. *La Granja*, 27(1), 112-123. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.09>
- Segura, F. D. C., Salcedo, A. J. M., Laverde, A. M. P., & Arias, J. V. T. (2021). Impacto ambiental del vertimiento de aguas servidas en aglomerados urbanos ilegales del municipio de

- Villavicencio, Colombia. Tecnura, 25(68), 43-62.
<https://doi.org/10.14483/22487638.16273>
- Urrego, G., & Eulalia, D. (2016). Tres ensayos sobre eficiencia, acceso al agua potable y política de control de la contaminación de los recursos hídricos en Colombia. TDX (Tesis Doctorals En Xarxa). https://digital.csic.es/bitstream/10261/176001/1/Agua_GomezUrrego.pdf
- Zacarías, V. H. R., Machuca, M. A. V., Soto, J. L. M., Equihua, J. L. P., Cardona, A. A. V., Calvillo, M. D. L., & González, J. V. (2017). HIDROQUÍMICA y CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS RESIDUALES URBANO INDUSTRIALES DE MORELIA, MICHOACÁN, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 221-235. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.02.04>
- Congreso de la República de Colombia. (2018, julio 12). Ley 1915 de 2018. *Por la cual se modifica la ley 23 de 1982 y se establecen otras disposiciones en materia de derecho de autor y derechos conexos*.
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87419>
- Esquivel-Martínez, H., & Hernández Ramos, U. (2007). Crecimiento económico, información asimétrica en mercados financieros y microcréditos. *Economía Sociedad y Territorio*, 6(23), 773-805. <https://doi.org/10.22136/est002007257>
- Madura, J. (2016). *Mercado e instituciones financieras* (11 ed.). Cengage.
- Martin Marín, J. L., & Trujillo Ponce, A. (2004). *Manual de mercados financieros*. Thomson.
- Marín, R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. (Ediciones Díaz de Santos (ed.); Segunda ed).
- Mendiola, A., Aguirre, C., BendeZú, G., Berrospi, A., Córdova, D., & Núñez del Prado, P. (2014). *Emisión de acciones de empresas peruanas en el mercado financiero internacional: factores de éxito, beneficios y riesgos*. ESAN ediciones.
<https://hdl.handle.net/20.500.12640/124>
- Orientación Universia. (2019, enero 30). *Las normas APA son Importantes en el desarrollo de su tesis*. <https://orientacion.universia.net.co/infodetail/orientacion/consejos/las-normas-apa-son-importantes-en-el-desarrollo-de-su-tesis-5518.html>
- Rioja, G. (2008). *¿Judicialización de la salud? el caso de las personas sordas* [conferencia]. XIII Congreso de la Caja de Abogados de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Ronderos Pulido, N. (2016). *Una visión unificada del contagio en mercados financieros: un enfoque causal en el dominio de la frecuencia* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Universidad Javeriana.
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/19460>