

ANÁLISIS DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO BAJO NECHÍ PARA  
FORMULAR ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN ANTE LOS EFECTOS DE LA  
VARIABILIDAD CLIMÁTICA



DIANA CAROLINA ESTRELLA TRIANA  
CARMEN EUNICE HERNÁNDEZ GRANDA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
BOGOTÁ  
2025

ANÁLISIS DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CUENCA DEL RÍO BAJO NECHÍ PARA  
FORMULAR ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN ANTE LOS EFECTOS DE LA  
VARIABILIDAD CLIMÁTICA

DIANA CAROLINA ESTRELLA TRIANA  
CARMEN EUNICE HERNÁNDEZ GRANDA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en gestión de  
cuencas hidrográficas

Asesor  
MARCOS ANDRÉS RAMOS CASTAÑEDA  
Magister

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
BOGOTÁ  
2025

**TABLA DE CONTENIDO**

|                                         |    |
|-----------------------------------------|----|
| Resumen.....                            | 8  |
| Abstract .....                          | 9  |
| Lista de abreviaturas y siglas .....    | 10 |
| Introducción .....                      | 11 |
| 1 Planteamiento del Problema .....      | 12 |
| 2 Justificación .....                   | 14 |
| 3 Objetivos .....                       | 16 |
| 3.1 Objetivo general.....               | 16 |
| 3.2 Objetivos específicos .....         | 16 |
| 4 MARCO REFERENCIAL.....                | 17 |
| 4.1 Marco contextual .....              | 17 |
| 4.2 Marco de antecedentes .....         | 19 |
| 4.3 Marco conceptual.....               | 27 |
| 4.4 Marco Legal .....                   | 28 |
| 4.5 Marco teórico .....                 | 30 |
| 5 Marco metodológico .....              | 31 |
| 5.1 Línea de investigación .....        | 31 |
| 5.2 Diseño y alcance .....              | 32 |
| 5.3 Enfoque .....                       | 33 |
| 5.4 Tipo de investigación.....          | 33 |
| 5.5 Población.....                      | 34 |
| 5.6 Muestra .....                       | 34 |
| 5.7 Procedimientos y herramientas ..... | 34 |
| 5.8 Análisis de datos .....             | 35 |
| 5.9 Variables .....                     | 36 |
| 5.10 Hipótesis .....                    | 37 |

|       |                                                                                                                                                                                    |    |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6     | Resultados obtenidos .....                                                                                                                                                         | 37 |
| 6.1   | Primer objetivo: Realizar el diagnóstico de la calidad del recurso hídrico, el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.<br>..... | 37 |
| 6.1.1 | Calidad del agua.....                                                                                                                                                              | 37 |
| 6.1.2 | Caudal .....                                                                                                                                                                       | 40 |
| 6.1.3 | Precipitación .....                                                                                                                                                                | 42 |
| 6.1.4 | Dinámicas socioambientales .....                                                                                                                                                   | 46 |
| 6.2   | Segundo objetivo: Analizar los cambios en la calidad del recurso hídrico, el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.<br>.....   | 49 |
| 6.2.1 | Análisis de la calidad del agua y el caudal .....                                                                                                                                  | 49 |
| 6.2.2 | Análisis de la precipitación mensual.....                                                                                                                                          | 56 |
| 6.2.3 | Comparación entre la precipitación, el caudal y la calidad del recurso hídrico.....                                                                                                | 57 |
| 6.2.4 | Análisis de las respuestas de la encuesta de percepción .....                                                                                                                      | 59 |
| 6.2.5 | Análisis de los resultados de la encuesta de percepción en relación con los resultados de calidad, caudal y precipitación.....                                                     | 69 |
| 6.3   | Tercer objetivo: Formular estrategias de mitigación ante los efectos de la variabilidad climática asociados al recurso hídrico en la cuenca del río bajo Nechí.....                | 72 |
| 7     | Conclusiones .....                                                                                                                                                                 | 81 |
|       | REFERENCIAS.....                                                                                                                                                                   | 82 |

**Lista de Tablas**

|                                                                            | Pág. |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| Tabla 1. Resultados de análisis caudal, pH y conductividad .....           | 38   |
| Tablas 2 - 3. Resultados nutrientes .....                                  | 39   |
| Tabla 4. Resultado de análisis oxígeno disuelto, DBO y DQO .....           | 39   |
| Tabla 5. Resultados de análisis sólidos, turbiedad y metales pesados ..... | 39   |
| Tabla 6. Importancia de las variables ICA.....                             | 53   |
| Tabla 7. Clasificación calidad del agua .....                              | 54   |
| Tablas 8 - 9. Cálculo ICA Río Bajo Nechí .....                             | 54   |
| Tabla 10. Resultado ICA río bajo Nechí.....                                | 55   |
| Tabla 11. Años El Niño, Neutral y La Niña periodo 2015 al 2024 .....       | 57   |

## Lista de Figuras

|                                                                                      | Pág. |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figura 1. Localización de la cuenca del río bajo Nechí .....                         | 17   |
| Figura 2. Cuenca río bajo Nechí .....                                                | 18   |
| Figura 3. Ubicación punto monitoreo ODC Río Nechí antes de Río Cauca.....            | 38   |
| Figura 4. Ubicación estación limnimétrica .....                                      | 40   |
| Figura 5. Caudal máximo mensual estación La Esperanza Nechí [27037010] .....         | 41   |
| Figura 6. Caudal mínimo mensual estación La Esperanza Nechí [27037010] .....         | 41   |
| Figura 7. Ubicación estaciones pluviométricas .....                                  | 42   |
| Figura 8. Precipitación mensual estación Patio Bonito [25020540].....                | 42   |
| Figura 9. Precipitación mensual estación Nechí [27040040] .....                      | 43   |
| Figura 10. Precipitación estación La Esperanza Radio [25021480] .....                | 44   |
| Figura 11. Precipitación mensual estación El Guamo [27030040].....                   | 45   |
| Figura 12. Precipitación mensual multianual.....                                     | 45   |
| Figura 13. Caudal.....                                                               | 49   |
| Figura 14. Oxígeno disuelto.....                                                     | 49   |
| Figura 15. Sólidos suspendidos y sólidos totales.....                                | 50   |
| Figura 16. Sólidos sedimentables .....                                               | 51   |
| Figura 17. Turbidez y DQO .....                                                      | 51   |
| Figura 18. Metales pesados.....                                                      | 52   |
| Figura 19. Resultado ICA IDEAM .....                                                 | 55   |
| Figura 20. Cobertura vegetal en la cuenca.....                                       | 56   |
| Figura 21. Calidad del agua en el río bajo Nechí.....                                | 60   |
| Figura 22. Actividades económicas que afectan la calidad del agua en la región ..... | 61   |

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 23. Percepción del nivel de contaminación del agua.....                                      | 61 |
| Figura 24. Percepción del caudal (nivel del agua).....                                              | 62 |
| Figura 25. Percepción sobre la afectación de la contaminación en la cantidad de peces<br>.....      | 62 |
| Figura 26. Percepción sobre la contaminación del río Nechí y las dinámicas<br>socioeconómicas ..... | 63 |
| Figura 27. Eventos ocurridos en los últimos 10 años .....                                           | 64 |
| Figura 28. Relación de la variabilidad climática y los cambios en la calidad del agua<br>.....      | 65 |
| Figura 29. Principales problemas relacionados con el recurso hídrico.....                           | 67 |
| Figura 30. Principales limitaciones en la gestión del agua .....                                    | 68 |
| Figura 31. Utilidad del trabajo de grado planteado.....                                             | 69 |

### Lista de Ecuaciones

|                               |      |
|-------------------------------|------|
|                               | Pág. |
| Ecuación 1. Cálculo ICA ..... | 53   |

## Resumen

El análisis de los cambios en la calidad del recurso hídrico de la cuenca del río bajo Nechí, orientado hacia la formulación de estrategias de mitigación ante los efectos de variabilidad climática, requiere considerar la influencia de El Niño y La Niña, tanto en la disminución como en el incremento súbito del nivel del cauce principal. Históricamente, el valle del río Nechí ha sido explotado por la minera aurífera, lo cual ha contribuido al aumento en la sedimentación del canal principal, así como el incremento en la frecuencia y severidad de las inundaciones (Rios & Mosselman, 2018). Adicionalmente, el uso de mercurio en la extracción del oro ha afectado la biota acuática por la bioacumulación y toxicidad (Restrepo & Restrepo, 2024). Estas condiciones aunadas con la falta de saneamiento básico potencian la vulnerabilidad y agravan los efectos asociados a la variabilidad climática.

En este sentido, la presente investigación tiene un enfoque mixto que aplica el método descriptivo, con algunos elementos del secuencial para una población de análisis correspondiente a funcionarios de las alcaldías municipales y CORANTIOQUIA. El análisis de la información primaria y secundaria contempla la calidad del agua, el caudal, la precipitación, las dinámicas socioambientales, realización de encuestas de percepción, comparación de resultados y formulación de las estrategias.

Finalmente, el producto obtenido se deriva del análisis de la información disponible y los resultados de las encuestas de percepción, en las cuales se identificó uno de los principales efectos de la variabilidad climática correspondiente a las inundaciones periódicas, que a su vez generan pérdidas económicas y afectaciones ambientales en los ecosistemas acuáticos.

**Palabras Clave:** Recurso hídrico, calidad del agua, índice de calidad del agua, mitigación, variabilidad climática.

### Abstract

The analysis of changes in the water resource quality of the lower Nechi River basin, oriented towards the formulation of mitigation strategies against the effects of climate variability, requires considering the influence of El Niño and La Niña, both in the decrease and sudden increase in the level of the main channel. Historically, the Nechi River valley has been exploited by gold mining, which has contributed to the increased in the sedimentation of the main channel, as well as the increase in the frequency and severity of floods (Rios & Mosselman, 2018). Additionally, the use of mercury in gold extraction has affected aquatic biota through bioaccumulation and toxicity (Restrepo & Restrepo, 2024). These conditions, combined with the lack of basic sanitation, increase vulnerability and aggravate the effects associated with climate variability.

In this sense, the present research has a mixed approach that applies the descriptive method, with some elements of the sequential for an analysis of population corresponding to officials of the municipal governments and CORANTIOQUIA. The analysis of primary and secondary information contemplates the water quality, flow, precipitation, socio-environmental dynamics, conducting perception surveys, comparison of results and the formulation of strategies.

Finally, the product obtained is derived of the analysis of available information and the results of perception surveys, in which identified one of the main effects of climate variability corresponding to the periodic floods, which in turn generates economic losses and environmental impacts on aquatic ecosystems.

**Key work:** Water resource, water quality, water quality index, mitigation, climate variability.

**Lista de abreviaturas y siglas**

|              |                                                              |
|--------------|--------------------------------------------------------------|
| ANLA         | Autoridad Nacional de Licencias Ambientales                  |
| CORANTIOQUIA | Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia        |
| ENOS         | El Niño Oscilación del Sur por sus siglas en ingles ENSO     |
| IDEAM        | Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales |
| ICA          | Índice de Calidad del Agua                                   |
| IGAC         | Instituto Geográfico Agustín Codazzi                         |
| ODC          | Objetivos de calidad                                         |
| POMCA        | Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas         |
| ZCIT         | Influencia de la oscilación de la convergencia Intertropical |

## Introducción

La variabilidad climática contempla el análisis de la fluctuación del clima en períodos correspondientes a escalas de tipo mensual, anual y/o décadas (IDEAM, n.d.-a). También en escalas de tiempo multidecenales, es decir, la variabilidad climática comprende las fluctuaciones de una variable climática incluso en escalas temporales mayores a la década (Pisor et al., 2023). Además, la trayectoria de la variabilidad, oscilación atmosfera – océano, tiene un rol importante en la interpretación de los cambios en las inundaciones, siendo este fenómeno meteorológico el causante de pérdidas económicas y humanas a nivel mundial, así mismo se relaciona con variables como la precipitación y el caudal fluvial (Kundzewicz et al., 2019).

La variabilidad climática en Colombia se da por la zona de confluencia intertropical, la dinámica entre las cuencas del Orinoco y Amazonas, y la dinámica entre los océanos Pacífico y Atlántico; se caracteriza por un régimen de precipitación bimodal hacia la región Andina y unimodal hacia la región Caribe, esto implica que los efectos de fenómenos como El Niño y La Niña sobre los caudales son significativos, principalmente para la macrocuenca Magdalena – Cauca (García et al., 2012), a la cual pertenece la cuenca del río bajo Nechí.

De esta manera, los efectos se pueden observar de forma casi inmediata sobre los ecosistemas, afectando la economía y las condiciones de vida de las comunidades. A esto se suma, la disponibilidad limitada de recursos económicos en los municipios categoría 6 que conforman la cuenca, la falta de saneamiento básico y la contaminación de las aguas con vertimientos de la minería aurífera. Por tanto, es necesario formular estrategias de mitigación y adaptación que permitan a las comunidades ser resilientes ante los efectos de la variabilidad climática.

En este sentido, se desarrolló un análisis mixto para la cuenca río bajo Nechí, iniciando con el diagnóstico del recurso hídrico que incluye la calidad del agua, el caudal y la precipitación, así mismo se incluye la caracterización de las dinámicas socioambientales identificadas en el POMCA. Luego, se analizaron los cambios en la calidad del recurso hídrico, el caudal y la precipitación versus la información recopilada por medio de las encuestas dirigidas a CORANTIOQUIA y las alcaldías de El Bagre y Nechí, de este modo el resultado de dicho análisis se constituye en el soporte técnico de la formulación de las estrategias de mitigación.

Tanto en el diagnóstico como en la fase de formulación de estrategias se tuvieron en cuenta documentos técnicos, artículos de investigación sobre la cuenca río bajo Nechí y las estrategias para la mitigación de los efectos de la variabilidad climática existentes en fuentes de información, a fin de que estas se ajusten a las condiciones ambientales y socioeconómicas de la cuenca del río bajo Nechí.

## **1 Planteamiento del Problema**

La zona del bajo cauca antioqueño a pesar de tener un aporte importante al PIB del país, dado que Antioquia genera cerca del 40% del oro del país y de este el 60% proviene del bajo cauca, es una zona que presenta baja disponibilidad de recursos económicos, con retraso importante en infraestructura y altos índices de necesidades básicas insatisfechas. Además, presenta modelos de crecimiento desorganizados con fuerte influencia del conflicto armado y con el 50% de la población por debajo de la línea de pobreza, siendo el desarrollo más lento en comparación con otras regiones de Antioquia (Comfenalco, 2023; Comisión de la verdad, 2020, 2021).

La cuenca del río bajo Nechí es zona con baja disponibilidad de recursos económicos, los dos municipios que forman parte de la cuenca El Bagre y Nechí, son categoría 6 (Contaduría General de la Nación, 2024), esto implica que sus ingresos corrientes de libre destinación se encuentran en el grupo de ingresos más bajos en la escala de categorización, según la Ley 136 de 1994, que va desde categoría especial y primera hasta categoría sexta (Congreso de Colombia, 1994).

Esta zona ha sido muy golpeada por el abandono del Estado, por la presencia de grupos armados y la cultura del oro, lo que contrarío a traer riquezas al territorio trajo mayor descomposición social y pobreza, situación que ha representado desplazamiento de la población hacia las zonas urbanas, generando un crecimiento desordenado, que incide en la calidad del recurso hídrico y en el saneamiento de la zona (Comisión de la verdad, 2021; Tobón, 2023).

En cuanto a las problemáticas ambientales, se presenta contaminación hídrica por la falta de saneamiento básico, dado que no cuentan con sistemas de tratamiento in situ en la mayoría de las viviendas rurales, implicando infiltración de los vertimientos y posible contaminación de las aguas subterráneas; sumado a los vertimientos de las comunidades ribereñas sobre las fuentes hídricas. De acuerdo con el diagnóstico del POMCA río bajo Nechí,

el 82,4% de las viviendas rurales en El Bagre no cuentan con unidades sanitarias, el 9% tienen pozo séptico, el 5,2% disponen en inodoro a tierra y el 3,4 % en letrinas. Para el municipio de Nechí, el 97,6% no cuenta con unidades sanitarias, el 1,3% tiene pozo séptico, el 0,2% dispone en inodoro a tierra y el 0,9 % en letrinas (CORANTIOQUIA, 2022).

Otra de las problemáticas ambientales es la contaminación de las aguas con vertimientos provenientes de la minería aurífera, la cual incrementa parámetros como los sólidos suspendidos totales y la turbiedad. Adicionalmente, el documento de diagnóstico del POMCA Tomo I indica la presencia de “*trazas de metales y compuestos líquidos como el cianuro que actúan como complejante (CN-) con el mercurio*” (CORANTIOQUIA, 2022, pp. 502), de tal forma que se identificó la presencia de mercurio en los análisis realizados para el Río Nechí  $> 0,002$  mg/l en temporada húmeda (ANLA, 2019). También hay cambio de color en el agua, pasando a una tonalidad grisácea debido a la amalgama con mercurio, el arrastre de sólidos asociado a los procesos erosivos por las actividades minera y agropecuaria, ha disminuido la navegabilidad del río Nechí (CORANTIOQUIA, 2022).

En términos de oferta hídrica, la cuenca del Río Bajo Nechí cuenta con una oferta alta en la mayoría de los meses del año (9 meses), ya que es una zona con índice de aridez del 73,03% correspondiente a excedentes y un 17,4% con altos excedentes. Sin embargo, en el trimestre entre febrero y abril se presenta una excepción, dado que hay déficit de caudal (CORANTIOQUIA, 2022).

Respecto a la variabilidad climática, la cuenca presenta dinámicas de barreras orográficas que favorecen el ascenso y enfriamiento de las corrientes de aire provenientes del Caribe, las cuales sumadas con las dinámicas climáticas en la confluencia de los valles húmedos de los ríos Nechí y Cauca, más la influencia de La Mojana generan un forzamiento orográfico para la precipitación, es decir, se reduce la magnitud de la temporada de sequía y persiste la lluvia reciclada (CORANTIOQUIA, 2022). Además, se identificaron zonas con riesgo de inundación en la cuenca, de las cuales el 10,25% corresponde a un riesgo alto en el tramo medio, mientras que un 20,82% presenta riesgo medio a lo largo del cauce del río Nechí. En cuanto a las avenidas torrenciales, estas presentan un nivel bajo para el 90,53% de la cuenca (CORANTIOQUIA, 2022).

Teniendo en cuenta lo mencionado, se decide abordar el análisis de los cambios en la calidad del recurso hídrico, el caudal y la precipitación para la cuenca del río bajo Nechí, de

modo que este análisis permita identificar potencialidades del territorio sin omitir las dinámicas socioambientales en la formulación de las estrategias de mitigación a la variabilidad climática.

Por lo cual la pregunta problema de la investigación corresponde a:

¿Qué estrategias se pueden formular para mitigar los efectos de la variabilidad climática asociados al recurso hídrico en la cuenca del río bajo Nechí?

## **2 Justificación**

La explotación de oro en el valle del río Nechí es una actividad desarrollada de manera histórica, principalmente en los depósitos aluviales de oro, este tipo de actividad contribuye con la sedimentación del canal principal y por consiguiente con el aumento en el nivel de las inundaciones (Rios & Mosselman, 2018). Además, la dinámica de los cuerpos de agua según Ruiz et al. (2016) se ha visto afectada por la influencia del fenómeno de El Niño oscilación del sur, situación que se refleja en la disminución del área de las ciénagas para diferentes periodos de tiempo, al comparar los datos presentados por los autores Rios & Mosselman para La Niña del año 2010 versus El Niño 2015 se puede observar una reducción del área aproximadamente del 85% en promedio.

También, el boletín No. 194 del IDEAM presenta para la cuenca hidrográfica del río Nechí la posibilidad de incrementos súbitos en el nivel del río, específicamente a la altura del municipio de Nechí, con crecientes de la quebrada La Oca en el municipio de Zaragoza y La Villa en el municipio de El Bagre (IDEAM, 2024). Sumado a los efectos que tienen las inundaciones, el daño ambiental del río Nechí a causa de las intervenciones antrópicas como el uso de dragas y retroexcavadoras, ha contribuido con la contaminación del 75% del río Nechí, debido a las malas prácticas en la actividad minera, la cual usa el mercurio como mecanismo para la extracción de oro, este metal con gran capacidad de bioacumulación y en forma de metilmercurio de biomagnificación, es una sustancia tóxica que genera afectaciones en la biota acuática (Restrepo & Restrepo, 2024).

Teniendo en cuenta las dinámicas socioambientales anteriormente descritas, el presente trabajo de grado analiza estas dinámicas y los cambios en parámetros como la precipitación, la calidad del recurso y el caudal, de esta forma se plantean estrategias de mitigación ante los efectos de la variabilidad climática, considerando los fenómenos de La Niña o El Niño, las problemáticas existentes en el territorio asociados a la sedimentación del cauce principal, la contaminación del agua y la falta de sistemas de saneamiento básico adecuados,

dado que esta situación incrementa la severidad en los daños a la comunidad y el ecosistema en época de lluvias.

La cuenca del río bajo Nechí fue seleccionada debido a la alta oferta hídrica con la que cuenta en la mayoría de los meses del año (9 meses) y la ocurrencia de inundaciones (CORANTIOQUIA, 2022), las cuales son susceptibles de generar pérdidas para las comunidades. En términos de cifras económicas, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres indica que la pérdida anual esperada por inundación en los municipios de El Bagre y Nechí corresponde aproximadamente a dieciséis mil ochocientos millones de pesos (UNGRD, n.d.).

Se espera que el presente proyecto sea un documento de consulta para futuras investigaciones que se realicen en la cuenca del río bajo Nechí, en el sentido en que recopila la información socioambiental existente, ya que en el territorio los elementos que lo conforma interrelacionan entre sí, es decir, las acciones humanas sobre los ecosistemas condicionan el estado y la existencia o no de los servicios ecosistémicos que estos brindan. Por tanto, se espera que este proyecto sirva como fuente de información para aquellos actores que quieran realizar acciones relacionadas con la implementación de estrategias para la mitigación de los efectos de la variabilidad climática.

Aunque existen documentos como el POMCA del río bajo Nechí donde se presentan datos relacionados con las características de la cuenca y la información primaria proveniente de CORANTIOQUIA a través del programa PIRAGUA, con el cual se han realizado análisis en el río Nechí desde el año 2017, es importante resaltar que este trabajo de investigación cobra relevancia al presentar un comparativo de la información a lo largo de los años, a través de un análisis de la influencia de los cambios en términos de calidad del recurso hídrico, caudal, precipitación y dinámicas socioambientales en el área de influencia. Finalmente, se plantean estrategias de mitigación a los efectos de la variabilidad climática, de modo que las comunidades y el ecosistema tengan las menores afectaciones.

Sumado a lo anterior, se debe tener en cuenta que el enfoque hacia el análisis de la cuenca del río bajo Nechí con la integración de la variabilidad climática, el recurso hídrico y los aspectos socioambientales para la formulación de estrategias de mitigación, acordes a las potencialidades y dinámicas en la cuenca es escasa, solo el POMCA del río bajo Nechí fue el documento de los consultados en el proceso de revisión bibliográfica que contaba con más información al respecto.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Analizar los cambios en el recurso hídrico de la cuenca del río bajo Nechí para la formulación de estrategias de mitigación ante los efectos de la variabilidad climática.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Realizar el diagnóstico de la calidad del recurso hídrico, el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.
- Analizar los cambios en la calidad del recurso hídrico, el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.
- Formular estrategias de mitigación ante los efectos de la variabilidad climática asociados al recurso hídrico en la cuenca del río bajo Nechí.

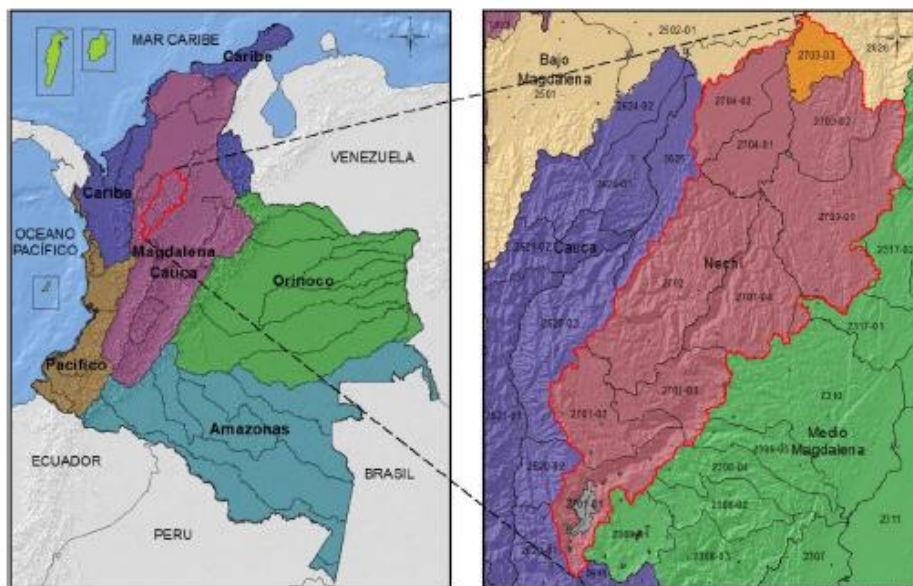
## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 Marco contextual

En los Llanos del Cuivá del municipio de Yarumal, nace el río Nechí, llegando hasta la desembocadura en el río Cauca, este recorrido cuenta con una longitud de 250 kilómetros (Comfama, 2021). La parte baja de este río se encuentra dentro de la delimitación de la cuenca del río bajo Nechí (código 2703-03), ubicada en el norte de la Cordillera Central, en la región del Bajo Cauca, conformada por 55.865,84 hectáreas distribuidas en Nechí y El Bagre del departamento de Antioquia. Para el caso de Nechí de las 94.128,15 ha correspondientes a su extensión el 36,76% (21.268,01 Ha) hacen parte de la cuenca del río bajo Nechí, mientras que El Bagre de las 155.821,50 ha que lo conforman solo el 13.65% (34.597,83 Ha) pertenecen a esta cuenca. Se tiene el registro de nueve consejos Afro y una comunidad indígena en la cuenca (CORANTIOQUIA, 2022).

**Figura 1.**

*Localización de la cuenca del río bajo Nechí*



Fuente (CORANTIOQUIA, 2022)

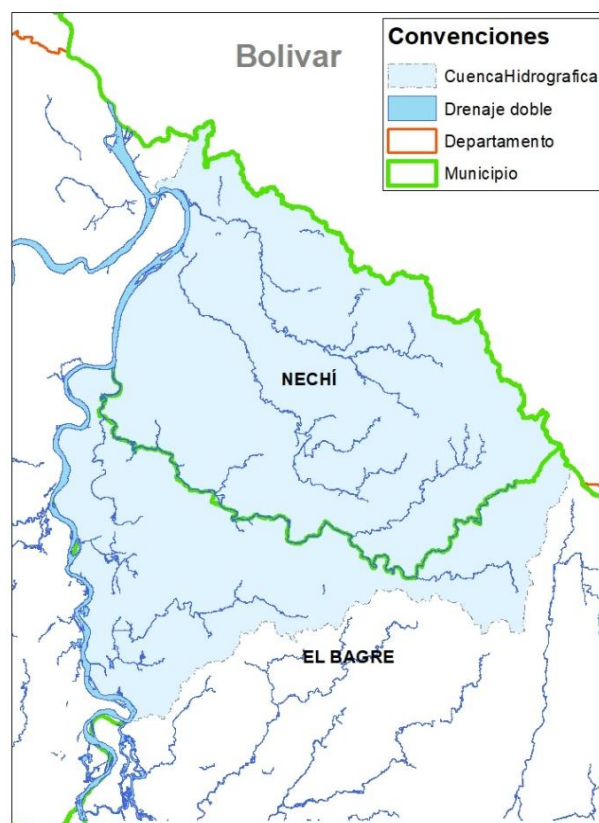
Las actividades económicas más representativas son la minería de oro como la principal actividad en la zona, seguida por la agricultura de arroz y hoja de coca, la actividad pecuaria, la pesca, piscicultura y la apicultura. También, se practica la minería artesanal, la legal, informal e ilegal (CORANTIOQUIA, 2022).

Con base en el POMCA (CORANTIOQUIA, 2022), se destacan algunas características relevantes de la cuenca, como son:

- El clima predominante cálido húmedo.
- El área hidrológica pertenece al Magdalena – Cauca.
- La cuenca es cruzada por la falla El Bagre.
- El 88% de la cuenca se clasifica como zona alta de recarga del acuífero del Bajo Cauca.
- Los ecosistemas de humedales, lagunas y ciénagas corresponden al 13% de las fuentes superficiales de la cuenca.
- El ecosistema más relevante es el de bosque húmedo tropical.

**Figura 2.**

*Cuenca río bajo Nechí*



Elaboración propia con información de (CORANTIOQUIA, 2022)

## 4.2 Marco de antecedentes

De acuerdo con la temática a abordar y el enfoque hacia la mitigación de efectos de la variabilidad climática sobre el recurso hídrico, se realizó una revisión de las investigaciones a nivel internacional, nacional y local, identificando las siguientes:

En el artículo titulado “*Quantifying the Effect of Land Use Change and Climate Variability on Green Water Resources in the Xihe River Basin, Northeast China*” elaborado por Lyu et al. (2019), contempla la relación entre el cambio en el uso del suelo y el almacenamiento de agua en el mismo, a lo que los autores llaman almacenamiento de agua verde; producto de su investigación en la cuenca del río Xihe se identificó que el aumento en la superficie de pastizales modifica el almacenamiento de agua y genera una mayor evapotranspiración, es decir, el aumento de la superficie forestal afecta el coeficiente de agua verde, este coeficiente también se relaciona con la distribución de la precipitación en la cuenca y a su vez es un parámetro que refleja la variabilidad climática en la zona .

En el artículo titulado “*An integrated and multidimensional approach for analyzing vulnerability of water resources under territorial climate conditions*”, elaborado por El Garouani et al. (2024) los autores indican que la variabilidad climática, las actividades agrícolas, las actividades industriales y el aumento en la demanda de agua generan presión sobre el recurso hídrico, esto a su vez compromete la calidad del agua y los hace más vulnerables a la escasez del recurso natural, la cual no solo afecta el desarrollo socio económico, también afecta el equilibrio ecológico, principalmente en zonas áridas. Además, el crecimiento de la población, la urbanización y la mala gestión del agua, termina afectando la calidad del agua y disminución en la misma.

En cuanto a los efectos de la variabilidad climática, en el artículo titulado “*Assessing the effects of ENSO-induced climate variability on shallow coastal groundwater reserves of north Patagonia, Argentina*” de Gaiolini et al. (2025) se indica la reducción en las precipitaciones y el aumento de la temperatura como impactos que alteran el ciclo hidrológico, principalmente las zonas áridas costeras y semiáridas son las más vulnerables a los cambios en el ambiente. Ahora bien, si se combina la demanda de agua dulce para el consumo humano y para riego, con las fluctuaciones climáticas, la presión sobre el recurso hídrico aumenta deteriorando aún más la calidad y cantidad del mismo.

En el caso de la Patagonia El Niño Oscilación del Sur se ha asociado a las anomalías en la precipitación registrada a diferentes escalas temporales, este fenómeno representa el acoplamiento entre la atmósfera y el océano, por esto es el fenómeno más importante que impulsa la variabilidad climática a nivel mundial (Gaiolini et al., 2025).

Bhusal et al. (2025) en el artículo titulado “Climate change impacts on flood hazards and surface-subsurface water interactions in the Lancang Mekong River Basin” menciona que las inundaciones son un componente de la hidrología, ya que las zonas de llanuras aluviales y los humedales dependen de estas, al mantener el régimen hidrológico que sustenta las especies dependientes en los ecosistemas en mención. Sin embargo, cuando se da una alteración en el balance hídrico de la cuenca, bien sea por el crecimiento socioeconómico y el calentamiento global, los patrones de inundación cambian.

En el artículo titulado “*Towards smallholder food and water security: Climate variability in the context of multiple livelihood hazards in Nicaragua*” de Bacon et al. (2021) se indica que la variabilidad climática afecta la seguridad hídrica, situación que empeora cuando se suma la gestión insostenible del agua y los peligrosos asociados a los eventos climáticos extremos, dado que los sistemas que abastecen los hogares suelen captar el agua de fuentes superficiales, las cuales son sensibles a las precipitaciones y a la topografía del lugar. En el caso de Nicaragua las amenazas incluyen eventos como las sequías, que pueden ser extremas y comprometer los medios de subsistencia de las comunidades.

Según Bilbao et al. (2024) en el artículo titulado “*Declining water resources in the Anduñá River Basin of Western Pyrenees: Land abandonment or climate variability?*”, las montañas desempeñan un rol importante en el suministro de agua, ya que generan la mitad del recurso hídrico que es proporcionado a la población mundial, sin embargo estas pueden verse afectadas por los cambios en las variables climáticas, los procesos del ciclo hidrológico, la cobertura y las propiedades del suelo que conllevan efectos sobre la disponibilidad del recurso aguas abajo.

Los procesos de cambio en el uso de la tierra influyen en los regímenes de sequía e inundación, por lo cual mitigar los efectos de las inundaciones implica el desarrollo de prácticas como la reforestación, ya que desempeña un rol en la reducción del riesgo por inundación al mejorar las condiciones de permeabilidad del suelo, por medio de las raíces de los árboles que contribuyen con el aumento en la infiltración. Además, exacerba los cambios durante la época de sequías extremas en el régimen hídrico (Bilbao et al., 2024).

Respecto al artículo titulado “*Evaluation of the impact of climate change on a hydrological basin in natural regime (SE, Spain) using a SWAT model*” de Jordar et al., (2018), los autores mencionan que la demanda del agua aumenta la presión en la cantidad y calidad del recurso natural dado su crecimiento continuo. Además, el desarrollo de proyectos de restauración hidrológica y forestal que incluyen diques de retención de sedimentos y acciones de reforestación, afectan la dinámica del agua y los sedimentos, al reducir el aporte de sedimentos desde las laderas y los caudales aforados, el aumento de las zonas con vegetación favorece la proliferación de hábitats.

En cuanto al artículo elaborado por Mello et al. (2025) titulado “*Mitigating severe hydrological droughts in the Brazilian tropical high-land region: A novel land use strategy under climate change*” los autores indican que las sequías hidrológicas afectan la sociedad y la economía. Además, la recuperación forestal reduce la frecuencia de sequías severas, porque el mayor rendimiento del agua se atribuye a la interacción planta – suelo en gran medida, dado que el aumento en la capacidad de infiltración del agua en el suelo facilitada por las raíces de las plantas, sumado con la acumulación de materia orgánica conduce a un balance hídrico sostenible.

Por otra parte, el documento titulado “*Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe Una revisión general*” de los autores Sánchez & Reyes (2015), presenta las medidas de mitigación y adaptación contra el cambio climático con enfoque en el Caribe y América Latina, dentro de estas medidas se incluyen los fondos para la conservación y desarrollo de sumideros, acciones para el manejo de las aguas residuales, disminución de la deforestación a través de planes, manejo de residuos sólidos, acciones de ordenamiento ecológico, programas de saneamiento y agua potable, planes de adaptación dirigidos a los sectores de pesca, agropecuario y forestal, programas de educación ambiental, entre otros.

De forma similar Shannon et al. (2019) en el artículo titulado “*Adaptation strategies and approaches for forested watersheds*”, presentan estrategias para la adaptación climática de los ecosistemas partiendo del entendimiento de que, se deben considerar al tiempo los riesgos a largo plazo y las condiciones cambiantes al momento de establecer estrategias de adaptación escalonadas. Dentro del listado de estrategias se encuentra el sostener los procesos hidrológicos, mejorar la capacidad de infiltración y almacenamiento del recurso hídrico en los suelos forestales, restaurar la conectividad hidrológica, restaurar la conectividad de las llanuras

aluviales, mantener los humedales boscosos, mejorar la calidad del agua, restaurar los bosques y la cubierta vegetal, entre otros.

Según Mairura et al. (2021) en el artículo titulado “*Determinants of farmers' perceptions of climate variability, mitigation, and adaptation strategies in the central highlands of Kenya*” la percepción que tengan los agricultores sobre la variabilidad climática influye en las estrategias de mitigación y adaptación, ya que la percepción sobre la variabilidad climática influye en la adopción de tecnologías para una agricultura climáticamente inteligente.

Adicional a lo anterior, Rentería et al. (2022) en el artículo titulado “*Evaluation of climate variability on sustainability for transboundary water supply in Chihuahua, Mexico*” indican que para el desarrollo de estrategias de sostenibilidad y mitigación exitosas se deben alinear los ciclos de gestión con los ciclos climáticos locales y los impulsores climáticos globales, es así que la administración de los recursos hídricos debe tener un sistema de gestión que permita evaluar el vínculo entre el cambio climático y la variabilidad desde los usos, la gobernanza y los proyectos de mejora tanto en infraestructura como de capital.

Además, Liu et al. (2020) en el artículo denominado “*Establishment and implementation of green infrastructure practice for healthy watershed management: Challenges and perspectives*”, contemplan la infraestructura verde como acción realizada en diferentes países para mejorar la resiliencia frente al cambio climático, es una herramienta para la planificación en parques, vías verdes, zonas de derecho de paso, callejones y reservas forestales. La aplicación de este tipo de infraestructura en la agricultura permite regular la eutrofización causada por los pesticidas y fertilizantes.

En cuanto al artículo titulado “*Assessing climate change-induced flooding mitigation for adaptation in Boston's Charles River watershed, USA*”, los autores Cheng et al. (2017) abordan el concepto de infraestructura verde como una estrategia para la gestión del recurso hídrico, principalmente para el agua proveniente de la lluvia y consigo la mitigación de la inundación. Este tipo de infraestructura comprende un sistema conformado por espacios abiertos bien sea naturales o artificiales, con características paisajísticas que proporcionan beneficios de servicios ecosistémicos y cuya implementación requiere de capacidad socio institucional y biofísica.

Respecto a aquellas áreas que hacen función de sumidero de carbono, el artículo titulado “*The Carbon Sink Conservation Areas (CSCAs) as a land use strategy for climate change mitigation*” de los autores Wang et al. (2025), presenta la estrategia basada en las áreas

de conservación como sumideros para el secuestro de carbono, con base en el uso del suelo, dado que la rápida urbanización ha generado transformaciones en la dinámica de la vegetación, alterando las funciones de los ecosistemas terrestres.

Los cambios en la precipitación, temperatura y otras variables climáticas influyen en la fotosíntesis, afectando la asimilación y almacenamiento del carbono, por esto las estrategias de conservación no solo se deben basar en las condiciones actuales, también deben incluir las proyecciones para mejorar la resiliencia a largo plazo. Otro factor para considerar, son los cambios en el uso del suelo y las perturbaciones que pueden afectar el secuestro de carbono, por esto es importante hacer una evaluación continua de las series temporales, de modo que la planificación del uso del suelo se desarrolle de forma resiliente al clima (Wang et al., 2025).

Según Wang et al. (2023) en el artículo titulado “*Assessing the response of water use efficiency to climate variability and land-use changes in the mountainous area of North China*”, la eficiencia del uso del agua representa un acoplamiento entre los ciclos del carbono y el agua, es decir, permite evaluar el equilibrio entre el consumo de agua y el secuestro de carbono en los ecosistemas terrestres, cuando se incluye la eficiencia del uso del agua como factor de análisis de los ecosistemas se puede evaluar la respuesta del ecosistema ante la disponibilidad de agua. Además, la eficiencia puede verse afectada por factores como la variabilidad climática y el cambio en el uso del suelo, los cuales al sumar su influencia y al considerar la necesidad ecológica de agua insatisfecha a tiempo, pueden conllevar a la degradación del ecosistema.

A nivel nacional Naranjo et al. (2019) en el artículo titulado “*Influencia del ENSO en la variabilidad espacial y temporal de la ocurrencia de movimientos en masa desencadenados por lluvias en la región Andina colombiana*”, se presenta el comportamiento bimodal de la precipitación para el departamento de Antioquia. La ZCIT presenta una alta relación entre la circulación atmosférica sobre el este del océano pacífico, el mar Caribe y la cuenca del río Amazonas, en particular con el Chorro del Chocó, el cual corresponde a los vientos que penetran por el occidente del país, siendo ausente en los meses de febrero y marzo, con máxima velocidad para los meses de octubre y noviembre, generado una fuerte advección húmeda desde el océano pacífico hacia el país.

Además, se presenta coexistencia entre fenómenos como el ENSO con la ZCIT y el Chorro del Chocó, generando patrones de variabilidad complejos del tipo hidro climáticos en los Andes, lugar donde la distribución de la temporada de lluvias tiene una alta variabilidad,

dada la orografía del país, la cual cuenta con 3 cordilleras y valles interandinos que permiten la circulación local atmosférica, potenciando la convección profunda y favoreciendo la formación de lluvia tropical (Naranjo et al., 2019).

Peralta et al. (2021) en el artículo titulado “*Desabastecimiento hídrico en el sistema de ciudades de Colombia: ordenamiento ambiental y territorial en el Área Hidrográfica Magdalena-Cauca*” indica que, con base en el IGAC la disponibilidad excede la demanda de agua, sin embargo la distribución no es homogénea en las regiones del país y existen variaciones como los periodos de lluvia y sequía que determinan su disponibilidad. Ahora bien, si se considera la dinámica en el territorio colombiano, el cual por su ubicación geográfica en la zona de convergencia intertropical ZCIT franja del Ecuador se debe tener en cuenta la convergencia de los vientos alisios del sureste y noreste, situación que conlleva a mayor presencia de lluvias y nubosidad.

En cuanto al artículo titulado “*Efectos de la Variabilidad Climática (vc) y el Cambio Climático (cc) en los Recursos Hídricos de Colombia*”, el autor Escobar (2011) menciona que la gestión del recurso hídrico en Colombia es un reto debido a los altos niveles de urbanización, la baja cobertura de servicios públicos, el crecimiento poblacional, entre otros. Además, los efectos de la variabilidad climática afectan la disponibilidad de los recursos naturales, un ejemplo de esto es la acción de fenómenos con El Niño Oscilación del sur, el cual es sus fases extremas (Niña y Niño) cambia el hidroclima, aumentando el número de tormentas, huracanes, sequías, entre otros.

El hidroclima en Colombia está determinando por los dos océanos, la circulación de la cuenca amazónica, la fisiografía y la vegetación a nivel local, si se analiza a nivel global la influencia de la oscilación de la convergencia Intertropical ZCIT está directamente relacionado con el evento ENOS, el cual presenta periodos de sequía y otros de inundaciones. Por tal motivo, para minimizar los efectos de este fenómeno climático es necesario disminuir la vulnerabilidad de la comunidad, por medio de la ampliación de la cobertura de acueducto, la disminución entre la demanda versus el suministro, aumentar la eficiencia en el uso del agua, promover el uso de alternativas para la recolección de agua lluvia, definir fondos de emergencia para la atención de estos eventos extremos, entre otros (Escobar, 2011).

Con relación al componente social, el artículo titulado “*El Bajo Cauca Antioqueño, una tierra dorada que vive en la pobreza*” de la autora Santisteban (2020) presenta al Bajo Cauca como un territorio donde se realiza la extracción de oro, el cultivo de coca y el uso de tierra

para la ganadería. También es una zona con altos niveles de necesidades insatisfechas, con un 22% de la población registrada como víctimas del conflicto armado y un 50,64% en pobreza. El Bajo Cauca es una zona con riqueza en recursos naturales, sin embargo al localizarse el corredor de la cocaína desde el Catatumbo hasta el golfo de Urabá, los grupos armados ilegales tienen control de la región, a fin de asegurar el dominio de la extracción del oro de manera ilegal y el de la cocaína, siendo el municipio de El Bagre y Zaragoza los que aportan el 40% del oro nacional.

Por otra parte, Rodríguez et al. (2025) en el artículo titulado “*Dynamic effect of de climate change on flood damage cost in the Andean region of Colombia using an ARDL-ECM model and climate change projections*” indican que según el Portal de Conocimiento sobre Cambio Climático las inundaciones en el país representan el 45,29% de la ocurrencia anual para el periodo entre 1980 a 2020, siendo los años 2010-2011 donde La Niña afectó a cuatro millones de personas, con pérdidas económicas, destrucción en infraestructura y afectación en tierras agrícolas. Además, la topografía del país aumenta aún más los riesgos por inundación, principalmente en zonas bajas y pobladas, dada la configuración de extensas cuencas fluviales como es la Magdalena y Cauca.

En el artículo de investigación titulado “*EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL POR LA EXPLOTACION DE ORO ALUVION EN EL MUNICIPIO DE NECHI-ANTIOQUIA*”, realizado por López (2022) se presenta la minería como una problemática ambiental y social que implica el uso de sustancias como el mercurio en el proceso de separación del oro y las impurezas, razón por la cual se han visto afectadas fuentes hídricas y la salud humana. Las enfermedades identificadas en la población de Nechí corresponden a las esqueléticas, neurológicas y cardiovasculares, las cuales pueden ser consecuencia del uso de mercurio y la inexistencia de un sistema de alcantarillado y acueducto para los habitantes.

También está la exposición al nivel de mercurio a través del consumo de peces, moluscos y crustáceos del río o por el contacto directo con la sustancia, estas acciones pueden implicar daños permanentes a las personas cuando el nivel supera las 10 PPM, por lo cual es importante tener en cuenta que el mercurio se bioacumula en los organismos acuáticos, llegando a biomagnificarse en la red trófica, tal es el caso del consumo por parte de los seres humanos de los peces contaminados. A esta sustancia se suma el uso de cianuro que afecta negativamente la red trófica, alterando la estructura de la fauna, flora y la salud humana (López, 2022).

Además, Correa (2017) en el artículo titulado “*Desarrollo socio-económico regional: Impactos de la minería artesanal en el Bajo Cauca antioqueño*”, menciona que en el Bajo Cauca la minería se desarrolla sin control o supervisión del deterioro ambiental que causa, aunque los contaminantes en el río Nechí son moderados si se desarrolla la actividad de manera sostenida a largo plazo tiene interacción con el agua subterránea, a esto se suma la tala de árboles en zonas boscosas de difícil acceso para el desarrollo de la minería artesanal. Por otra parte, el 70,8% de la subregión Bajo Cauca se encuentra con necesidades básicas insatisfechas y hay presencia de grupos al margen de la ley en el desarrollo de la minería.

Así mismo, los autores Restrepo & Restrepo (2024) en el artículo titulado “*Ecocidio del río Nechí: invocación del efecto inter comunis*”, mencionan que históricamente Colombia ha contado con herramientas jurídicas para salvar los ecosistemas del país, el uso de personas en la minería artesanal e ilegal y la contaminación producto del uso de químicos como el cianuro y el mercurio genera daños en las fuentes hídricas, amenazando la vida silvestre y la vida humana, lo que antes eran zonas ricas de vegetación ahora son terrenos desérticos, donde se ve el mercurio y las dragas instaladas para arrancar pedazos de tierra infértil.

En cuanto al sistema fluvial Rios & Mosselman (2018), en el artículo titulado “*La minería aurífera sostenible: análisis preliminar del sistema fluvial del río Nechí, Colombia*” indican que el auge en la explotación de oro posiblemente está asociado con el aumento en los precios del mineral, lo cual ha motivado la minería informal y la deforestación. De los yacimientos en Colombia el depósito en el valle del río Nechí es el más importante, allí la empresa Minero S.A realiza el dragado a 18 metros de profundidad aproximadamente cuyo depósito forma rellenos hidráulicos.

También existe el dragado de cucharas que corresponde a la extracción de arenas, gravas y arcillas a una profundidad de hasta 30 metros aproximadamente, este material es separado por medio de procesos gravimétricos de peso y tamaño sin la utilización de mercurio o algún agente químico. De igual manera, se observan patrones de sedimentación y erosión en el río Nechí debido a la dinámica fluvial y la relación entre el nivel del agua y el caudal en las secciones transversales (Rios & Mosselman, 2018).

### 4.3 Marco conceptual

El **Recurso hídrico** corresponde al agua subterránea, superficial, marina y meteórica (Presidente de la república, 2010).

La **calidad del agua** corresponde a las condiciones que deben darse al agua para mantener un ecosistema equilibrado y que cumpla con los objetivos de calidad ecológica (IDEAM, 2015).

El **Índice de calidad del agua** o ICA es el índice que clasifica en varias categorías las fuentes superficiales y le asigna la calidad dependiendo de la escala de ponderación (IDEAM, 2025).

La **Cuenca hidrográfica** es el área geográfica en la cual las fuentes superficiales o subterráneas vierten a una red hidrográfica natural, con caudal continuo o intermitente, confluyen a un curso mayor y pueden desembocar en un río principal, en un pantano, un depósito natural de aguas o directamente en el mar (Presidente de la república, 1974). También es definida por la guía técnica para formulación del POMCA, como un territorio demarcado por divisorias de aguas, recorrido por la red natural de cauces que llegan a un mismo punto de desembocadura. En el cual se identifican la **Subcuenca** que es una división de la cuenca y entrega sus aguas al eje principal que le da nombre a la cuenca y la **Microcuenca** que se refiere a la unidad más pequeña, la cual entrega sus aguas al tributario secundario de la subcuenca (MinAmbiente, 2014).

Por otra parte, las **regiones hidrográficas**, de acuerdo con la Zonificación y codificación de cuencas de Colombia corresponden a conjuntos de cuencas que desembocan en un mismo mar u océano. Ejemplos de estas son la Región Hidrográfica Magdalena-Cauca, la del Caribe y la del Amazonas (IDEAM, 2013).

La **Mitigación** es la minimización o disminución de los impactos adversos de un evento peligroso, mediante estrategias y acciones (UNDRR, 2017).

La **Variabilidad climática** corresponde a las variaciones en el estado medio y demás otros parámetros estadísticos asociados, en diferentes escalas temporales y espaciales, esto incluye fenómenos como El Niño y la Niña. Esta se debe a procesos internos naturales tanto como a forzamientos externos antropogénicos (Congreso de Colombia, 2018). Estas fluctuaciones del clima se desarrollan en periodos de tiempo relativamente cortos, tales como

meses o años, y se caracteriza por comportamiento anormal de déficit o exceso de las precipitaciones (Escobar, 2011).

**El Niño Oscilación del sur – ENOS** es un fenómeno atmosférico – oceánico a gran escala, que altera las condiciones intertropicales normales, afectando el clima del planeta, este fenómeno es una de las causas de la variabilidad climática y ocurre en escalas de tiempo correspondientes a meses o varios años (Escobar, 2011).

**El Niño** es el componente oceánico del ENOS y la fase cálida, es decir, corresponde al calentamiento de las aguas superficiales de manera anormal del centro-este del océano pacifico tropical, profundizando en el termoclima del océano, esta fase está asociada a sequías, racionamientos energéticos, incendios forestales, disminución en la actividad pesquera y disminución en la producción agrícola (Escobar, 2011).

**La Niña** es la fase fría del ENOS asociada a inundaciones, crecientes, erosión, deslizamientos e incrementos en los sedimentos que se transportan por las fuentes hídricas. (Escobar, 2011).

#### **4.4 Marco Legal**

La legislación aplicable para este proyecto corresponde principalmente a aquella relacionada con las temáticas de variabilidad climática, cuencas hidrográficas, riesgos y protección de los recursos naturales. Con base en esto se presenta la siguiente normativa:

La Constitución política de Colombia de 1991, establece que se debe proteger la diversidad e integridad de ambiente, así como conservar las áreas de especial importancia ecológica por parte del Estado (artículo 79).

El Decreto 2811 de 1974, corresponde al Código de recursos naturales y en su artículo 312 define las cuencas hidrográficas, en su capítulo II contempla las directrices relacionadas con el límite de las cuencas, la administración pública, la planeación del uso del suelo, entre otros.

La Ley 99 de 1993, Ley Ambiental, indica en su artículo 43 que el recaudo de las tasas por uso del agua se debe destinar a las cuencas con POMCA adoptado exclusivamente para la recuperación, protección y monitoreo del agua.

La Ley 388 de 1997, relacionada con el ordenamiento territorial establece en su artículo 2 los principios que lo fundamentan entre estos la función social de la propiedad y la función

ecológica, y establece en su artículo 10 las determinantes del ordenamiento entre estas las relacionadas con la conservación de los ecosistemas, la gestión del cambio climático, gestión del riesgo, entre otras de tipo ambiental.

La Ley 1523 de 2012, adopta la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres e indica que la gestión del riesgo es indispensable para la seguridad, sostenibilidad y mejora en la calidad de vida.

La Ley 1931 de 2018, presenta directrices para la gestión del cambio climático tanto para personas públicas como privadas. Además, en el artículo 3 define la variabilidad climática para la comprensión e implementación de la Ley.

La Ley 2294 de 2023 o Plan Nacional de Desarrollo para el cuatrienio 2022-2026, contempla el ordenamiento del territorio en torno al agua y la transformación de las actividades productivas de modo que se aproveche el conocimiento e innovación y su aporte a la resiliencia frente el cambio climático.

El Decreto 3600 de 2007, reglamenta las determinantes del ordenamiento territorial a tener en cuenta en los municipios y distritos. A su vez, incluye las directrices relacionadas con áreas de conservación ambiental, producción agrícola y para explotación de recursos naturales, entre otros.

El Decreto 1640 de 2012, establece los instrumentos de ordenación, manejo y planificación para los acuíferos y las cuencas hidrográficas.

El Decreto 1077 de 2015, establece en su capítulo 5 las directrices relacionadas con las inversiones ambientales destinadas a la protección de las cuencas hidrográficas, así como las fuentes de agua.

El Decreto 1076 de 2015, establece en el capítulo 1 del título 3 los instrumentos para el manejo, planificación y ordenación de los acuíferos y las cuencas hidrográficas, así como su ámbito de aplicación.

El Decreto 50 de 2018, modifica de manera parcial el decreto 1076 de 2015 e incluye los conceptos de carga contaminante, caudal ambiental, capacidad de asimilación y objetivo de calidad. También en su artículo 2.2.3.3.1.4 el ordenamiento del recurso hídrico y demás directrices relacionadas con los criterios de calidad del agua.

La Resolución 0631 de 2015, establece los valores límites permisibles en los vertimientos a cuerpos de agua, así como los parámetros a medir.

La Resolución 1571 de 2017, por el cual se fija la tarifa mínima que se debe pagar por utilizar el agua.

La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico del año 2010 establece las estrategias, metas, indicadores, líneas de acción y los objetivos para el país en materia de recurso hídrico.

#### 4.5 Marco teórico

El POMCA del río bajo Nechí, presenta en su diagnóstico información clave para entender la delimitación de la cuenca, sus características físicas, biológicas y sociales, además presenta los documentos de aprestamiento, formulación y prospectiva en los cuales se plantea el ordenamiento de la cuenca bajo el principio de sostenibilidad, así como la cartografía asociada y la resolución por medio de la cual se adoptó el instrumento de ordenación (CORANTIOQUIA, 2022).

En cuanto al “*Documento técnico amenaza por inundación Fase I cuenca baja de los ríos Cauca y Nechí*”, en este se presenta la información del proyecto denominado “*Estimación y elaboración de estudios y cartografía de amenaza por inundaciones y fenómenos de remoción en masa en la jurisdicción de CORANTIOQUIA, con el uso de tecnologías geoespaciales. Fase I: Cuenca baja de los ríos Cauca y Nechí*” (CORANTIOQUIA & IGAC, 2013)., el cual permite identificar el principal riesgo en la cuenca correspondiente a las inundaciones en épocas de lluvias y las afectaciones generadas por estas.

En términos de Planes de Ordenamiento Territorial, el EOT del Municipio de Nechí y PBOT del municipio de El Bagre, presentan el instrumento de ordenamiento, mediante el cual se determinan los usos del suelo y se orienta el desarrollo de los municipios (Alcaldía de El Bagre, 2001; Alcaldía de Nechí, 2001).

Por otra parte, la Hoja metodológica Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA) es la guía que orienta el método de cálculo del ICA para Colombia, indicando los parámetros a analizar y su ponderación e incluyendo la escala de clasificación (IDEAM, 2025), esta guía fue utilizada para identificar el grado de calidad del agua del río bajo Nechí antes de su descarga al río Cauca.

Respecto a la Actualización de la evaluación regional del agua en la jurisdicción de CORANTIOQUIA, este estudio permite identificar la calidad del recurso hídrico, así como su vulnerabilidad. Por tanto, fue un insumo para el trabajo de grado, teniendo en cuenta que el

río Nechí es una de las fuentes priorizadas por CORANTIOQUIA, a la cual se le establecieron objetivos de calidad y se le realizan monitoreos anualizados (CORANTIOQUIA & aitec, 2023).

Los informes de cumplimiento de objetivos de calidad del recurso hídrico CORANTIOQUIA años 2017, 2019, 2020, 2021 y 2023, presenta el análisis del cumplimiento de los objetivos de calidad de las fuentes priorizadas en la jurisdicción de CORANTIOQUIA, partiendo de monitoreos realizados durante cada año. Estos documentos proporcionan información para determinar los cambios en la calidad del agua en el río bajo Nechí a lo largo de estos años, por lo cual se utilizaron los resultados del análisis de estos informes de ODC para el índice de calidad del agua (CORANTIOQUIA, 2023).

Adicional a lo anterior CORANTIOQUIA realizó el Plan Regional para el cambio climático, en el cual se formulan estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, partiendo de la vulnerabilidad de las comunidades. Estas estrategias sirvieron de referencia para la revisión y formulación de actividades en la cuenca del río bajo Nechí, tendientes a la mitigación de los impactos de la variabilidad climática (CORANTIOQUIA et al., 2018).

El documento titulado “*El recurso hídrico en la jurisdicción de CORANTIOQUIA 1995-2007*”, proporciona información relevante respecto a los eventos de inundaciones en los municipios de El Bagre y Nechí en este periodo, mostrando la periodicidad de estos eventos (Mejía, 2008).

## **5 Marco metodológico**

### **5.1 Línea de investigación**

La línea de investigación opera como un eje central que organiza la acción investigativa, dando paso a la unión de saberes e intereses de personas, grupos organizados o entidades con el objetivo de profundizar en un área del conocimiento. Estas líneas se originan cuando un investigador, dentro de un grupo, plantea y trabaja una temática específica, aplicando una metodología científica apropiada. Con cada nuevo proyecto realizado, la línea de investigación se consolida (Universidad del Azuay, n.d.).

El presente trabajo se enmarca en las Ciencias Ambientales, enfocado en la línea de investigación de conflictos hidro sociales, teniendo en cuenta que busca analizar el cambio en

la calidad del recurso hídrico, el caudal y la precipitación para la cuenca del río bajo Nechí, en relación con las dinámicas socioambientales del territorio.

## 5.2 Diseño y alcance

El diseño de la investigación consiste en la explicación del plan a seguir para su realización, es decir, la forma en cómo se van a resolver las preguntas formuladas, que objetivos se quieren alcanzar y el tipo de método que se va a seguir para lograrlos. En este se identifican tres conceptos base, **teoría** que es la explicación del fenómeno para comprobarlo, el **método** que es la forma de sistematizar la información que explica el fenómeno y la **técnica** que es el cómo se obtiene la información y como se analiza.

El documento se estructura iniciando con el diagnóstico sobre la calidad del recurso hídrico resaltando su relación con las principales problemáticas socioambientales identificadas para la cuenca del río bajo Nechí. Así mismo, se indican los cambios en la calidad del recurso hídrico, el caudal y la precipitación. Para esto se recopiló información secundaria de documentos técnicos que tiene la corporación autónoma CORANTIOQUIA, al igual que la información de índices de calidad históricos que se analizan en el marco de los informes de cumplimiento de los ODC (objetivos de calidad), artículos de investigación e información de las estaciones de la página del dhime del IDEAM.

Además, se realizó la recolección de la información primaria, por medio de encuestas de percepción a las dos alcaldías municipales y CORANTIOQUIA, estas respuestas fueron el insumo para orientar el análisis de las dinámicas socioambientales y la formulación de las estrategias de mitigación ante los efectos de la variabilidad climática, ya que estas permitieron escoger dentro del listado de estrategias identificadas en fuentes secundarias las que aportan al análisis en la cuenca del río bajo Nechí.

Paralelo al desarrollo de las encuestas, se realizó la consulta de información secundaria en diferentes fuentes como science direct, páginas de entidades del Estado (IDEAM, CORANTIOQUIA, ANLA), entre otros, para obtener información relacionada con el estado del recurso hídrico del río Nechí, estrategias de mitigación, variabilidad climática, aspectos socioambientales de la cuenca, inundaciones, entre otros.

Una vez, consolidada la información primaria y secundaria se procede a la estructuración del diagnóstico sobre la calidad del recurso hídrico y las principales problemáticas socioambientales identificadas para la cuenca del río bajo Nechí. Así mismo, se

analizaron los cambios en la calidad del agua el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.

### 5.3 Enfoque

El presente proyecto se fundamenta con un enfoque mixto, en el cual el componente cuantitativo brindó soporte argumentativo a los resultados cualitativos, para esto se realizó un análisis de los datos de calidad, caudal y precipitación en la cuenca, dado que el análisis principal del proyecto se enfoca en la información cualitativa recopilada mediante las encuestas de percepción y la información bibliográfica, es decir, con los datos cuantitativos se busca comprender a partir de datos numéricos la dinámica hidrológica de la cuenca, siendo este insumo un recurso adicional para entender mejor las dinámicas socioambientales, que ha sufrido la región en los últimos 10 años (2015 a 2024).

Para entender mejor estos dos enfoques se explica lo siguiente:

- El **enfoque cuantitativo**, se aplicó a la investigación a partir de los datos numéricos obtenidos en los monitoreos y los análisis físicoquímicos del agua realizados en el río bajo Nechí por CORANTIOQUIA entre los años 2017 a 2023, para contrastar el índice de calidad del agua (ICA) con la percepción de los entes territoriales respecto a los cambios en el recurso hídrico e identificar los factores que han influido en los cambios de estas características. También, se incluye información registrada en las estaciones del IDEAM para los parámetros de caudal y precipitación.
- El **enfoque cualitativo** se abordó a través de las encuestas realizadas a las alcaldías municipales y a CORANTIOQUIA, con las cuales se identificó el estado de la calidad del río bajo Nechí de acuerdo con la percepción de los encuestados.

### 5.4 Tipo de investigación

La investigación descriptiva busca evaluar y medir los aspectos, dimensiones o componentes más significativos de los fenómenos estudiados, siendo imprescindible contar con un alto conocimiento del área investigada (SEMAR, n.d.). Por tal motivo el análisis realizado implementa la **investigación descriptiva**, al incluir las características más relevantes del caso de estudio, es decir, con la información cualitativa y cuantitativa se describieron las características de la cuenca del río bajo Nechí en términos del recurso hídrico, partiendo de la percepción de los encuestados, los registros de precipitación, caudal y el índice de calidad del agua - ICA establecido por (IDEAM, 2025) con la que se evalúa el estado de un tramo

determinado de una fuente de agua superficial, teniendo en cuenta el análisis de parámetros químicos y físicos ponderados previamente en la fórmula de cálculo.

Además, se tuvieron en cuenta elementos del método de investigación **secuencial** aplicable a la investigación de tipo mixto, dado que seguido de la realización de la fase de investigación cualitativa se amplía la comprensión del análisis de la cuenca del río bajo Nechí al integrar en el estudio datos cuantitativos, en este sentido el diseño de investigación secuencial contempla una complementariedad entre los datos cualitativos y cuantitativos, donde la fase cuantitativa permite explicar los resultados cualitativos dando una visión más completa del objeto de estudio (Cueva et al., 2023).

### **5.5 Población**

La cuenca del río bajo Nechí contiene áreas de los municipios de Nechí y El Bagre. Además, es una zona en la jurisdicción de CORANTIOQUIA, por tal motivo se decide seleccionar a las alcaldías y la corporación autónoma como la población a la cual va dirigida la investigación. En el caso de las alcaldías municipales se incluyeron en el estudio las dependencias de planeación, despacho, ambiente y quienes manejan gestión del riesgo en los municipios.

### **5.6 Muestra**

El tipo de muestreo aplicado es por conglomerados, los cuales constituyen características o grupos específicos del universo en estudio, a los que se puede llegar fácilmente y tienen una representatividad importante dentro del análisis. Este muestreo se caracteriza por ser aleatorio y tener acceso fácil a los grupos objeto (Cortés & Iglesias, 2004)

Para este caso, se identificó como población de análisis a los entes encargados de la ejecución de medidas en el territorio como son los funcionarios de las alcaldías de Nechí y El Bagre y la corporación autónoma CORANTIOQUIA, siendo este último el encargado de la administración de los recursos naturales. El tipo de muestreo seleccionado está orientado hacia la disposición, el conocimiento específico de los funcionarios de estos entes, respecto al recurso hídrico y las dinámicas que se desarrollan en el territorio.

### **5.7 Procedimientos y herramientas**

Para el análisis investigativo se debe contar con un procedimiento que siga un orden lógico, coherente y verídico, que lleve a obtener resultados confiables, a través de recursos o

instrumentos que permiten la recolección y sistematización de la información (SENA, 2013), es así que los datos de calidad del agua generados por CORANTIOQUIA mediante el programa integral red agua PIRAGUA, en los cuales se presentan los índices de calidad del agua para el periodo entre el 2017 al 2023 (CORANTIOQUIA, 2024), permiten analizar el recurso hídrico de río bajo Nechí, al contar con un punto en el municipio de Nechí antes de su desembocadura al río Cauca.

Respecto a los datos de caudal y precipitación se analizó la información disponible en las estaciones del IDEAM, denominadas Patio Bonito, El Guamo, La Esperanza Nechí, La Esperanza Radio y Nechí identificadas de la página de (IDEAM, n.d.-b). También se tuvo en cuenta los resultados de la encuesta de percepción aplicada a los funcionarios que manejan el tema ambiental, planeación y gestión del riesgo en las alcaldías de El Bagre y Nechí, sumado con los funcionarios de la corporación autónoma CORANTIOQUIA territorial Panzenú, encargada del control y seguimiento en el territorio de la cuenca en cuestión.

## 5.8 Análisis de datos

En cuanto al nivel de estudio, se aplicó un análisis explicativo que profundiza en las causas de los acontecimientos para definir cómo se relacionan las variables analizadas. (SEMAR, n.d.).

En este sentido las variables a tener en cuenta son:

- Calidad del recurso hídrico
- Caudal
- Precipitación
- Dinámica socioambiental

El análisis de datos se realizó en 7 fases desarrolladas para dar cumplimiento a los objetivos específicos, las cuales se distribuyen de la siguiente forma:

**Objetivo específico 1:** Realizar el diagnóstico de la calidad del recurso hídrico, el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.

- **Fase 1:** Revisión de la información existente sobre la calidad del agua, caudal, precipitación y dinámicas socio ambientales en torno al recurso hídrico, incluyendo la identificación de los Índices de calidad del agua en los tramos del río bajo Nechí, con base en la información de CORANTIOQUIA.

**Objetivo específico 2:** Analizar los cambios en la calidad del recurso hídrico, el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.

- **Fase 2:** Análisis de la calidad del agua y caudal en la cuenca río bajo Nechi con base en la información de la red Piragua de CORANTIOQUIA.
- **Fase 3:** Análisis de la precipitación mensual con base en información de las estaciones del IDEAM
- **Fase 4:** Comparación entre la precipitación, el caudal y la calidad del recurso hídrico, con el fin de identificar la relación entre variables.
- **Fase 5:** Análisis de las respuestas de la encuesta de percepción, con el fin de identificar las dinámicas socioambientales en la cuenca rio bajo Nechí.
- **Fase 6:** Comparación entre los resultados de la encuesta de percepción con los resultados de la comparación entre la calidad, caudal y precipitación.

**Objetivo específico 3:** Formular estrategias de mitigación ante los efectos de la variabilidad climática asociados al recurso hídrico en la cuenca del río bajo Nechí.

- **Fase 7:** Con base en el análisis anterior se realizará la formulación de medidas de mitigación ante los efectos de la variabilidad climática sobre el recurso hídrico, ya que el análisis considera las dinámicas socioambientales.

## 5.9 Variables

Las variables analizadas son de tipo independiente y dependiente, puesto que se estudia un fenómeno de causa y efecto. En este sentido las variables a tener en cuenta son:

- Calidad del recurso hídrico
- Caudal
- Precipitación
- Dinámica socioambiental

Con estas variables se analizó cómo la calidad del recurso hídrico, la precipitación y el caudal en la cuenca del río Bajo Nechí se relaciona con las dinámicas socioambientales en la zona de estudio.

### 5.10 Hipótesis

Se propone una hipótesis conceptual y descriptiva, pues se busca explicar por medio de la teoría la relación entre dos variables (Cortés & Iglesias, 2004). Por lo anterior se plantea la siguiente hipótesis: La variabilidad climática y las dinámicas socioambientales influyen en la calidad del recurso hídrico de la cuenca del río bajo Nechí, cuyos efectos son identificados tanto por los funcionarios de las alcaldías municipales y CORANTIOQUIA, así como en los resultados de los monitoreos de calidad del agua, lo que evidencia la pertinencia en la formulación de estrategias de mitigación.

## 6 Resultados obtenidos

### 6.1 Primer objetivo: Realizar el diagnóstico de la calidad del recurso hídrico, el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.

En esta Fase 1 se realizó la revisión de la información existente sobre la calidad del agua, el caudal, la precipitación y las dinámicas socio ambientales en torno al recurso hídrico, incluyendo la identificación de los Índices de calidad del agua en el tramo del río bajo Nechí.

#### 6.1.1 Calidad del agua

Para analizar la calidad del agua en el río bajo Nechí, se tomaron los datos del programa integral red de agua PIRAGUA de CORANTIOQUIA, dichos análisis se realizan en el marco del seguimiento al cumplimiento de los objetivos de calidad ODC, específicamente en el punto ubicado en el tramo 3, identificado como “*ODC R. Nechí antes del R. Cauca (Parte Baja)*”, esta información se obtuvo para los años 2017, 2019, 2020, 2021, y 2023 (CORANTIOQUIA, 2023), dado que no fue posible obtener información de campañas de monitoreo anteriores a 2017, ni se tienen datos de monitoreos más continuos, que podrían proporcionar un mejor acercamiento a la realidad de la calidad del agua en el río Bajo Nechí. Las otras variables se analizarán para la década que contempla los años en los que se tienen datos de calidad de agua, con el fin de analizar la relación que existe entre estas.

**Figura 3.***Ubicación punto monitoreo ODC Río Nechí antes de Río Cauca*

Elaboración propia con Google EARTH e información del POMCA

A continuación, se presenta un compilado de los resultados de análisis, de estas cuatro campañas de monitoreo:

**Tabla 1.***Resultados de análisis caudal, pH y conductividad*

| Año  | Longitud   | Latitud  | Altitud | Fecha Monitoreo | Caudal (m <sup>3</sup> /s) | pH (unidades de pH) | Conductividad (μS/cm) |
|------|------------|----------|---------|-----------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|
| 2017 | -74,767347 | 8,096583 | 38      | 19/12/2017      | ND                         | 6,98                | 72,94                 |
| 2019 | -74,761306 | 8,09825  | 39      | 11/09/2019      | 595,990                    | 7,08                | 76,60                 |
| 2020 | -74,760689 | 8,098561 | 46      | 3/12/2020       | 1263,400                   | 6,69                | 60,00                 |
| 2021 | -74,760689 | 8,098561 | 46      | 17/12/2021      | 546,091                    | 7,3                 | 79,91                 |
| 2023 | -74,760689 | 8,098561 | 46      | 6/07/2023       | 868,200                    | 6,93                | 43,52                 |

Elaboración propia con información de los análisis para ODC

**Tablas 2 - 3.***Resultados nutrientes*

| Año  | Ortofosfatos<br>(mg(PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> /L) | Nitratos,<br>como<br>nitrógeno<br>(mgNO <sub>3</sub> -N/L) | Nitritos,<br>como<br>nitrógeno<br>(mgNO <sub>2</sub> -N/L) | Nitrógeno<br>amoniacoal,<br>como<br>nitrógeno<br>(mgNH <sub>3</sub> -N/L) | Nitrógeno<br>Total<br>Kjendahl<br>(mgN/L) | Fósforo<br>Total<br>(mgP/L) | Alcalinidad<br>Total<br>(mgCaCO <sub>3</sub> /L) | Dureza Total<br>(mgCaCO <sub>3</sub> /L) |
|------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 2017 | 0,163                                                   | 1,10                                                       | ND                                                         | ND                                                                        | 17,7                                      | 0,16                        | 20,7                                             | ND                                       |
| 2019 | 0,153                                                   | 7,69                                                       | 0,02                                                       | 5,0                                                                       | 5,0                                       | 2,05                        | 41,2                                             | 30,4                                     |
| 2020 | 0,500                                                   | 1,10                                                       | 0,03                                                       | 5,0                                                                       | 5,0                                       | 0,10                        | 16,1                                             | 12                                       |
| 2021 | 0,500                                                   | 1,10                                                       | 0,03                                                       | 2,5                                                                       | 2,5                                       | 0,24                        | 24,4                                             | 19,7                                     |
| 2023 | 0,500                                                   | 1,10                                                       | 0,03                                                       | 2,5                                                                       | 4,34                                      | 0,10                        | 14,9                                             | 14,8                                     |

| Año  | Ortofosfatos<br>(mg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> /L) | Nitratos,<br>como<br>nitrógeno<br>(mgNO <sub>3</sub> -N/L) | Nitritos,<br>como<br>nitrógeno<br>(mgNO <sub>2</sub> -N/L) | Nitrógeno<br>amoniacoal,<br>como<br>nitrógeno<br>(mgNH <sub>3</sub> -N/L) | Nitrógeno<br>Total<br>Kjendahl<br>(mgN/L) | Fósforo<br>Total<br>(mgP/L) | Alcalinidad<br>Total<br>(mgCaCO <sub>3</sub> /L) | Dureza Total<br>(mgCaCO <sub>3</sub> /L) |
|------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 2017 | 0,163                                                    | 1,10                                                       | ND                                                         | ND                                                                        | 17,7                                      | 0,16                        | 20,7                                             | ND                                       |
| 2019 | 0,153                                                    | 7,69                                                       | 0,02                                                       | 5,0                                                                       | 5,0                                       | 2,05                        | 41,2                                             | 30,4                                     |
| 2020 | 0,500                                                    | 1,10                                                       | 0,03                                                       | 5,0                                                                       | 5,0                                       | 0,10                        | 16,1                                             | 12                                       |
| 2021 | 0,500                                                    | 1,10                                                       | 0,03                                                       | 2,5                                                                       | 2,5                                       | 0,24                        | 24,4                                             | 19,7                                     |
| 2023 | 0,500                                                    | 1,10                                                       | 0,03                                                       | 2,5                                                                       | 4,34                                      | 0,10                        | 14,9                                             | 14,8                                     |

Elaboración propia con información de los análisis para ODC

**Tabla 4 .***Resultado de análisis oxígeno disuelto, DBO y DQO*

| Año  | Coliformes<br>totales, NMP<br>(NMP/100mL) | Coliformes<br>Fecales, NMP<br>(NMP/100mL) | DQO<br>(mgO <sub>2</sub> /L) | DBO <sub>5</sub><br>(mgO <sub>2</sub> /L) | Temperatura<br>del agua<br>(°C) | Temperatura<br>ambiente<br>(°C) | Oxígeno<br>Disuelto<br>(OD) | %SAT<br>Oxígeno<br>Disuelto<br>(%) |
|------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| 2017 | ND                                        | ND                                        | ND                           | ND                                        | 27,70                           | 32,10                           | 5,13                        | 68,30                              |
| 2019 | 8130                                      | 970                                       | 18,0                         | 2                                         | 29,70                           | 34,00                           | 6,39                        | 84,80                              |
| 2020 | ND                                        | ND                                        | 12,0                         | 2                                         | 27,30                           | 31,00                           | 7,79                        | 95,80                              |
| 2021 | 17360                                     | 1735                                      | 12,1                         | 2                                         | 27,60                           | 30,80                           | 6,61                        | 85,20                              |
| 2023 | 17260                                     | 3120                                      | 20,6                         | 2                                         | 28,70                           | 30,90                           | 6,23                        | 80,60                              |

Elaboración propia con información de los análisis para ODC

**Tabla 5.***Resultados de análisis sólidos, turbiedad y metales pesados*

| Año  | Sólidos<br>Suspendidos<br>Totales<br>(mg/L) | Sólidos<br>Sedimentables<br>(volumétrico)<br>(mL/L) | Turbidez<br>(NTU) | Sólidos<br>Totales<br>(mg/L) | Cianuro<br>Total<br>(mgCN-/L) | Mercurio<br>Total<br>(mgHg/L) | Plomo<br>(mgPb/L) |
|------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 2017 | 115                                         | ND                                                  | 110               | 199                          | ND                            | ND                            | ND                |
| 2019 | 171                                         | 0,2                                                 | 178               | 248                          | 0,05                          | 0,001                         | 0,25              |
| 2020 | 163                                         | 0,3                                                 | 212               | 251                          | 0,05                          | 0,001                         | 0,014             |

|      |     |     |     |     |      |       |       |
|------|-----|-----|-----|-----|------|-------|-------|
| 2021 | 206 | 0,3 | 278 | 408 | 0,05 | 0,001 | 0,014 |
| 2023 | ND  | 1   | 452 | 452 | 0,05 | 0,001 | 0,01  |

\*No se toma este valor ya que tiene un error en el calculo.

Elaboración propia con información de los análisis para ODC

### 6.1.2 Caudal

En la cuenca del río bajo Nechí solo se identificó una estación limnimétrica correspondiente a La Esperanza Nechí [27037010], esta estación fue ubicada en el programa Google Earth con base en las coordenadas en la página del (IDEAM, n.d.-b).

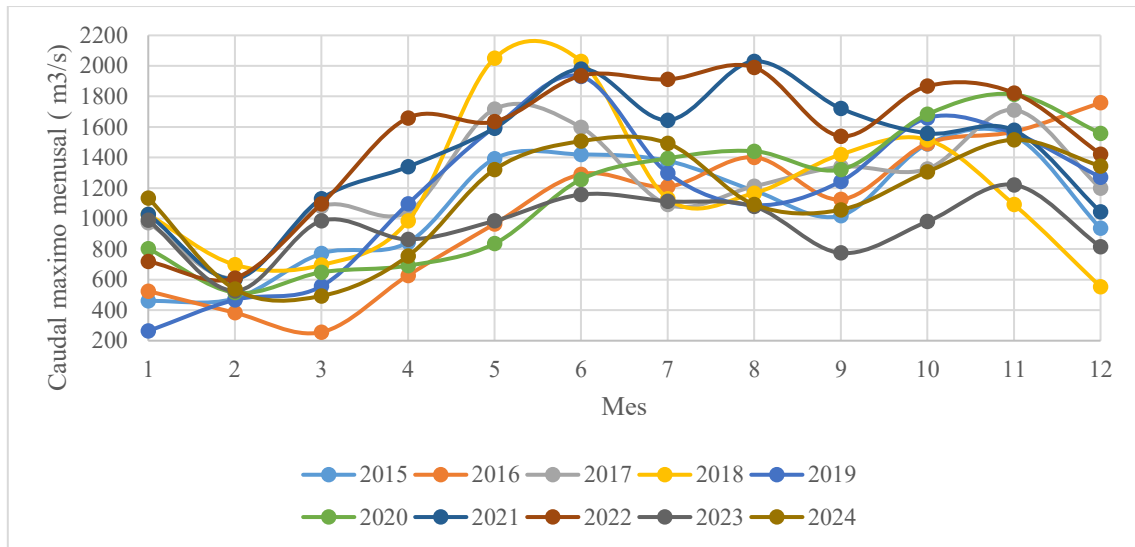
**Figura 4.**

*Ubicación estación limnimétrica*



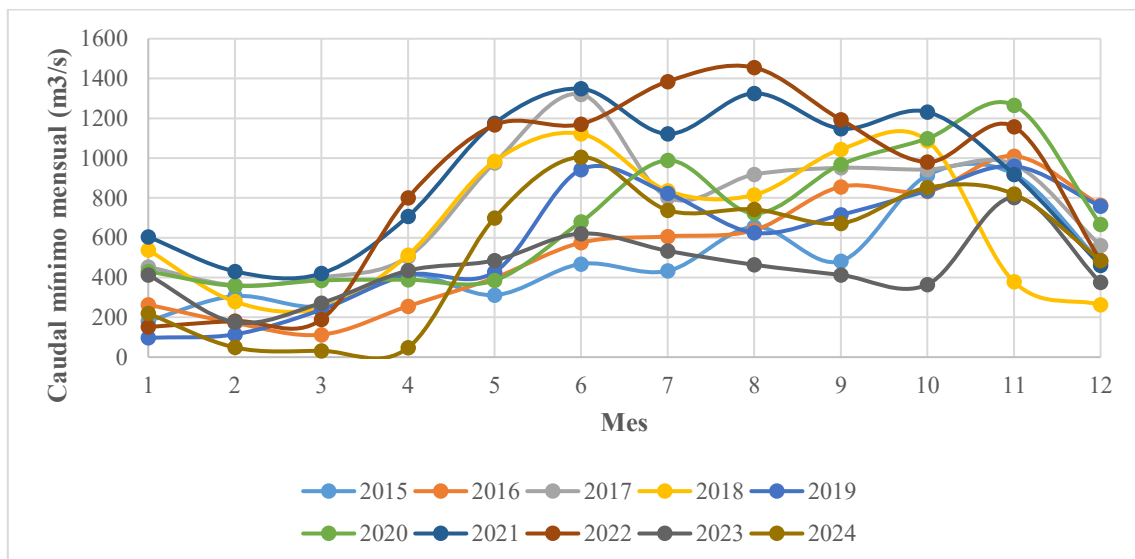
Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

La estación La Esperanza Nechí, registro como caudal máximo 2049,67 m<sup>3</sup>/s para el periodo 2015 a 2024, este valor se registró en el mes de mayo de 2018, seguido a junio de este mismo año y agosto de 2021 con un valor de 2.029,77 m<sup>3</sup>/s. Ahora bien, los resultados mensuales multianuales indican que los meses con mayor caudal corresponden a junio (1.610,49 m<sup>3</sup>/s), octubre (1.487,56 m<sup>3</sup>/s) y noviembre (1.542,49 m<sup>3</sup>/s), lo cual concuerda con lo plasmado en la Evaluación Regional del Agua realizada por CORANTIOQUIA en la que se indica que noviembre es el mes con mayor caudal, mientras marzo es el mes de menor caudal (CORANTIOQUIA & aitec, 2023).

**Figura 5.***Caudal máximo mensual estación La Esperanza Nechí [27037010]*

Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

Por el contrario, el caudal mínimo para el periodo 2015 a 2024 corresponde 31,7 m<sup>3</sup>/s valor registrado en marzo de 2024, seguido de 47,17 m<sup>3</sup>/s en abril de este mismo año. Ahora bien, los resultados mensuales multianuales de caudales mínimos indican que los valores más bajos en caudal corresponden al trimestre entre enero a marzo con valores entre 242,81 a 335,35 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 6.***Caudal mínimo mensual estación La Esperanza Nechí [27037010]*

Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

### 6.1.3 Precipitación

Las estaciones pluviométricas con información de precipitación en la cuenca río bajo Nechí fueron identificadas a partir de la localización en el programa Google Earth de las coordenadas en la página del (IDEAM, n.d.-b), de este proceso se logró identificar 4 estaciones que contaban con la información para el periodo 2015 a 2024, estas estaciones corresponden a Patio Bonito [25020540], El Guamo [27030040], La Esperanza Radio [25021480] y Nechí [27040040].

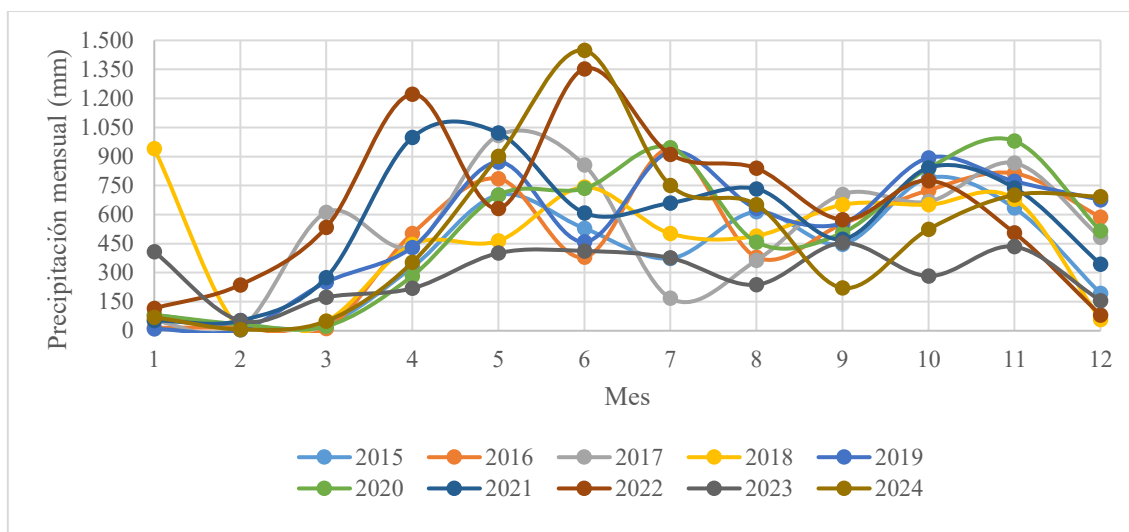
**Figura 7.**

*Ubicación estaciones pluviométricas*



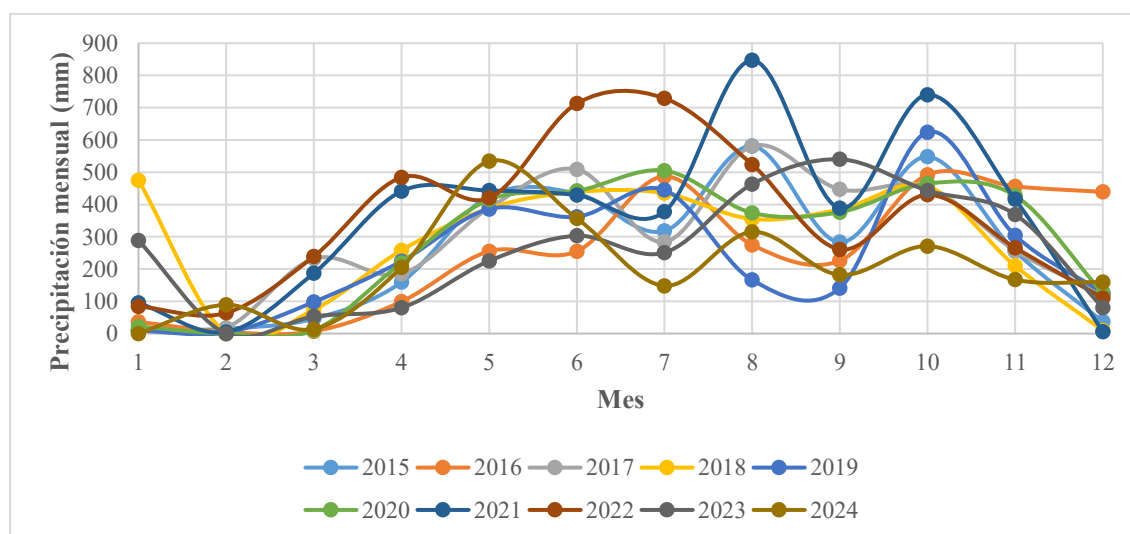
Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

Para la estación Patio Bonito, la precipitación más alta registrada en el periodo 2015 a 2024 fue 1.448 mm para el mes de junio de 2024, seguido el año 2022 donde la precipitación alcanzó los 1.353 mm en este mismo mes. Ahora bien, los resultados mensuales multianuales indican que los meses con mayor precipitación corresponden a junio (752,3 mm), mayo (748,8 mm) y noviembre (712,3 mm). Por el contrario, los meses con menor precipitación corresponden al trimestre entre enero a marzo con valores entre 44,6 a 201,4 mm.

**Figura 8.***Precipitación mensual estación Patio Bonito [25020540]*

Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

Respecto a la estación Nechí, la precipitación más alta registrada en el periodo 2015 a 2024 fue 846,5 mm para el mes de agosto de 2021, seguido de 740 mm en octubre de este mismo año y el año 2022 donde la precipitación alcanzó los 729 mm en el mes de julio. Ahora bien, los resultados mensuales multianuales indican que los meses con mayor precipitación corresponden a agosto (448,05 mm), junio (424,3 mm) y octubre (492,4 mm). Por el contrario, los meses con menor precipitación corresponden al trimestre entre enero a marzo con valores entre 19,9 a 103 mm.

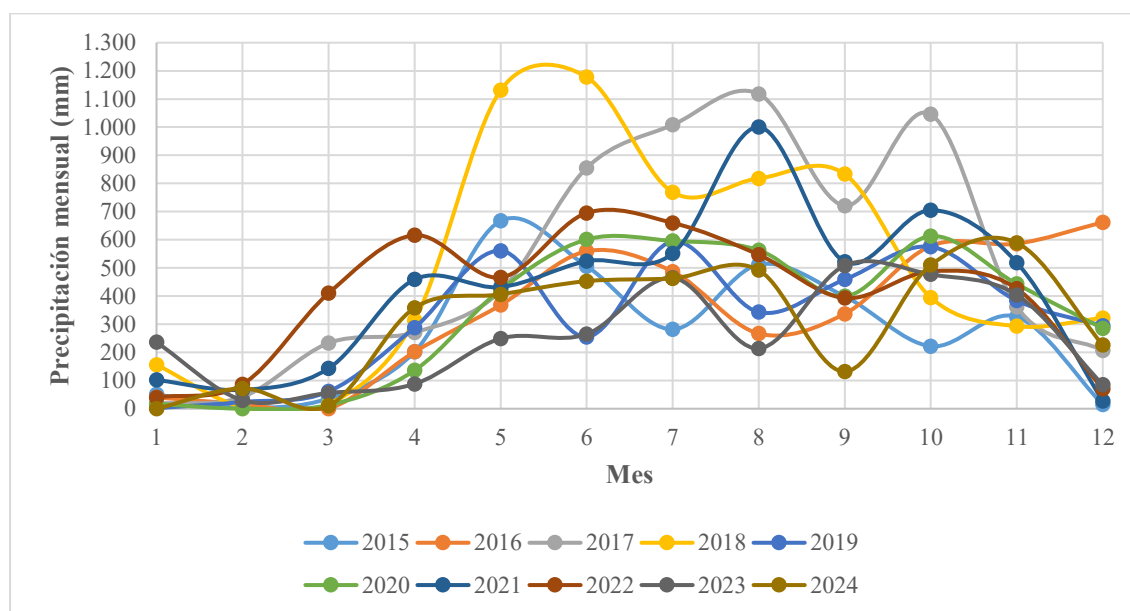
**Figura 9.***Precipitación mensual estación Nechí [27040040]*

Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

Para la estación La Esperanza Radio, la precipitación más alta registrada en el periodo 2015 a 2024 fue 1.178 mm para el mes de junio de 2018, seguido de 1.131 mm en mayo de este mismo año. Ahora bien, los resultados mensuales multianuales indican que los meses con mayor precipitación corresponden al trimestre entre junio a agosto con valores entre 587,4 a 589,1 mm. Por el contrario, los meses con menor precipitación corresponden al trimestre entre enero a marzo con valores entre 35 a 97,8 mm.

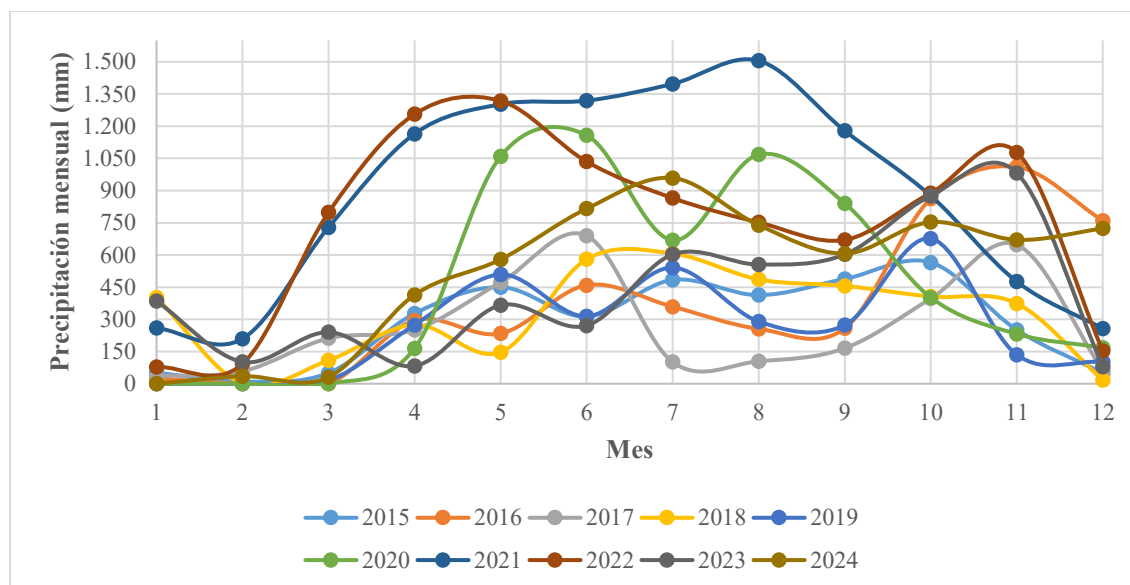
**Figura 10.**

*Precipitación estación La Esperanza Radio [25021480]*



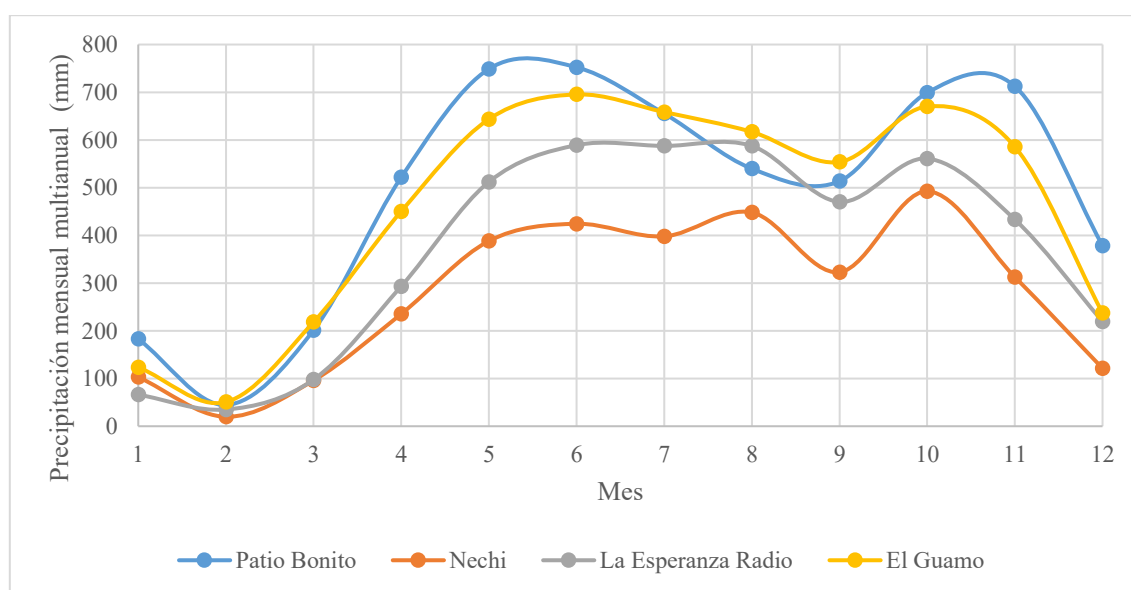
Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

En cuanto a la estación El Guamo, la precipitación más alta registrada en el periodo 2015 a 2024 fue 1.505 mm para el mes de agosto de 2021, seguido de 1.397 mm en julio del mismo año. Ahora bien, los resultados mensuales multianuales indican que los meses con mayor precipitación corresponden a junio (695,41 mm), octubre (670,17 mm) y julio (658,42 mm). Por el contrario, los meses con menor precipitación corresponden al trimestre entre enero a marzo con valores entre 50,8 a 218,39 mm.

**Figura 11.***Precipitación mensual estación El Guamo [27030040]*

Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

A nivel de cuenca los registros de precipitación mensual multianual presentan 2 picos de precipitación con un régimen bimodal caracterizado por incrementos en los meses de mayo, junio, octubre y noviembre. Los valores más bajos de precipitación para la cuenca río bajo Nechí se registran en el primer trimestre del año.

**Figura 12.***Precipitación mensual multianual*

Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

#### **6.1.4 Dinámicas socioambientales**

La cuenca del río bajo Nechí se encuentra en el área rural de los municipios de Nechí y El Bagre, solo el centro poblado Las Flores se encuentra dentro de la delimitación de la cuenca (DANE, 2020). De acuerdo con el POMCA del río bajo Nechí las juntas de acción comunal expresaron que el año 1948 corresponde al inicio del establecimiento de las primeras familias en la cuenca, quienes venían de otras partes del país como el departamento de Sucre y Córdoba, dada la violencia bipartidista de la época, las primeras veredas en fundarse fueron Sabalito y El Guamo del municipio El Bagre (CORANTIOQUIA, 2022).

A esto se suma que en la década de los 70 y 80 la inversión extranjera promovió el desarrollo de la minería de aluvión a las orillas del río Nechí a través de la empresa Mineros S.A. Históricamente, la presencia de minería ilegal establecida cerca de las zonas rurales de producción de oro y otros metales extraídos, más la producción de hoja de coca, cuyo auge se desarrolló a finales de la década de los 90, contribuyó con la llegada de poblaciones campesinas hacia el área rural de El Bagre (CORANTIOQUIA, 2022).

A nivel de las tasas de crecimiento poblacional el POMCA en su documento de diagnóstico indica que la tasa calculada para los dos municipios presenta un comportamiento similar en el área rural siendo más alta a partir de 1995, este escenario se puede asociar con las actividades productivas que se desarrollan en el territorio, tales como el cultivo de hoja de coca, la minería y la ganadería, que trae consigo nuevos pobladores dado el requerimiento de mano de obra (CORANTIOQUIA, 2022).

Compañías como la Pato Consolidate, la compañía francesa del Nechí y la Frontino Gold Mines al instalarse en la ribera del río Nechí favorecieron el repoblamiento de asentamientos en diferentes municipios entre estos Nechí. Sin embargo, en el POMCA se indica que no solo la minería de oro aportó a la movilización de la población, también los efectos de la guerra de los mil días en los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar contribuyeron con la movilización de personas hacia zonas del bajo Cauca donde a comienzos del siglo XX no se había consolidado los distritos mineros (CORANTIOQUIA, 2022).

El desarrollo de actividades como la minería implicaron cambios en el medio, dado los procesos de deforestación y los cambios en las condiciones físico-químicas del agua asociadas al uso de maquinaria para la excavación de material en las orillas del cauce y el uso de compuestos químicos para la extracción del oro, lo cual representó cambios en el color del

agua, en la turbiedad, la flora y fauna del ecosistema intervenido, esta situación conlleva afectaciones sobre otras actividades económicas como la ganadería, agricultura y pesca (López, 2022; Restrepo & Restrepo, 2024)

El desarrollo de la explotación de oro afecta la salud humana dado el uso de sustancias como el mercurio, un metal pesado con alta capacidad de bioacumulación y toxicidad (Restrepo & Restrepo, 2024), esta situación impulsada por la priorización de la oportunidad laboral sobre la salud es una decisión promovida por situación económica de algunas familias quienes por falta de recursos económicos vieron en la explotación de oro de forma ilegal o a pequeña escala la oportunidad de tener una fuente de ingresos (López, 2022).

Inicialmente en la cuenca del río bajo Nechí los sistemas de subsistencia se relacionaban con la explotación maderera, la caza, la pesca y la agricultura, dada la riqueza en flora y fauna en la región. Luego se desarrollaron procesos migratorios de salida y entrada de la población motivados por la fiebre del oro, la llegada de grupos al margen de la ley y el establecimiento de cultivos ilícitos (CORANTIOQUIA, 2022).

En razón a la explotación maderera la cuenca paso de tener áreas con selvas vírgenes a territorios modificados, esta situación sumada a los efectos de la segunda migración de población a causa de la extracción de oro, la cual implicó la conformación de asentamientos de pocas viviendas a lo largo de caminos y cuerpos de agua, entre estos las ciénagas en la zona, es una parte de las transformaciones en el territorio por factores como la gran densidad poblacional que demanda mayores áreas para cultivos con destinación comercial y de autoconsumo, la remoción del suelo y pérdida de cobertura vegetal por actividades como la explotación de oro, la actividad agropecuaria y minera de la cual deriva la contaminación del agua y la pérdida de áreas de protección correspondiente a ríos y quebradas (CORANTIOQUIA, 2022).

El establecimiento de cultivos de uso ilícito provocó transformaciones en el uso del suelo, pérdida de áreas de bosque y rastrojo, afectación en el bosque, suelo y en las personas por la aspersión área con glifosato para la erradicación de los cultivos de coca, lo cual provocó pérdida de la productividad del suelo y la ampliación de la frontera pecuaria por la práctica de ganadería de cría en suelos inundables, contribuyendo con la compactación del suelo por la pisada del ganado y la transición de los suelos que antes eran cenagosos a áreas de potrero. Las comunidades más cercanas a las ciénagas y ríos se dedican a la pesca, sin embargo culturalmente se ha venido perdiendo la tradición de esta actividad junto con la agricultura, al

parecer por el desarrollo de otras actividades como los cultivos ilícitos de coca y la explotación de oro (CORANTIOQUIA, 2022).

Respecto a la calidad de los servicios públicos en la cuenca según el POMCA son deficientes casi de acceso inexistente para los habitantes, en este documento se cita la información de SISBEN para indicar que el servicio de recolección de residuos y acueducto representan en 0% a la población, en la cuenca no existe un sistema de abastecimiento de agua organizado que permita la distribución hacia las viviendas de forma continua, de las 845 viviendas al interior de la cuenca solo una cuenca con acueducto, debido a esto la población accede al agua disponible en fuentes hídricas por medio de bombeo, pozos, conexiones artesanales, entre otros, esta agua es tratada por medio de hervido o ebullición (CORANTIOQUIA, 2022).

De acuerdo con el diagnóstico del POMCA río bajo Nechí, el 82,4% de las viviendas rurales en El Bagre no cuentan con unidades sanitarias, el 9% tienen pozo séptico, el 5,2% disponen en inodoro a tierra y el 3,4 % en letrinas. Para el municipio de Nechí, el 97,6% no cuentan con unidades sanitarias, el 1,3% tiene pozo séptico, el 0,2% dispone en inodoro a tierra y el 0,9 % en letrinas. Por tal motivo, la ausencia de los servicios de recolección de residuos domésticos y alcantarillado ha contribuido con el vertimiento de los residuos líquidos por parte de la población en las fuentes hídricas, la generación de quemados de los residuos sólidos o el entierro de estos (CORANTIOQUIA, 2022).

En la cuenca se generan 101 kg/ día de carga contaminantes con origen doméstico, afectando a cuerpos de agua como las quebradas Sabalito, El Guamo, Costa Rica, Las Penas, San Mateo, Río San Pedro, La Esperanza, Las Delicias, Seca, Platanal, Río San Pedro, San Pablo, Mala Noche, El Hojarascal, Madre de Dios, Directos, Aguas Limpias y la Trinidad. Además, la carga contaminante de la actividad minera se encuentra localizada en los sectores Hondonada Puerto Arenas, Caño Sabalito Arriba, Caño Sabalito Aguas Abajo, Mineros S.A zonas de producción 1 a 5 y Caño Guamo Aguas Abajo (CORANTIOQUIA, 2022).

Respecto a la disposición final de residuos sólidos, el municipio de Nechí en el corregimiento Las Flores y las veredas que hacen parte de la cuenca el 71% de la población hacen quema de los residuos y el 22% disponen en el patio. En cuanto a el municipio de El Bagre el 92% de la población hace incineración de los residuos y el 4% los entierra (CORANTIOQUIA, 2022).

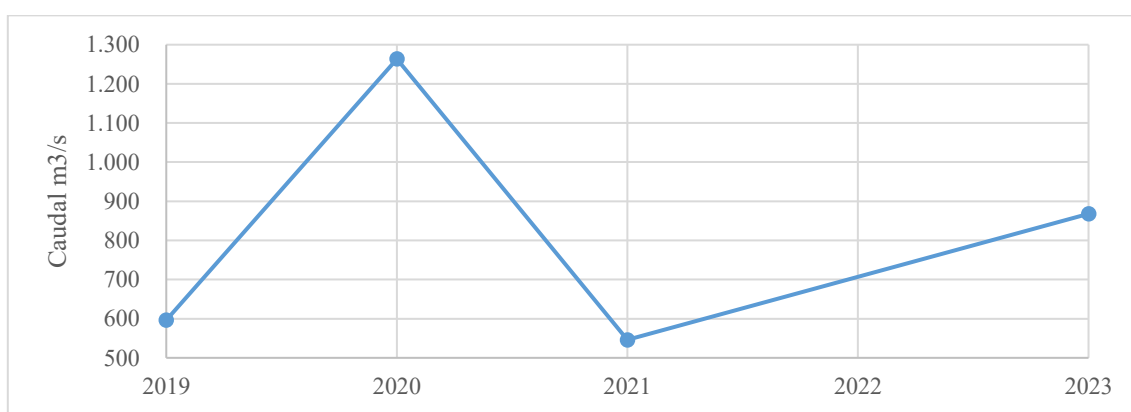
## 6.2 Segundo objetivo: Analizar los cambios en la calidad del recurso hídrico, el caudal, la precipitación y las dinámicas socioambientales en la cuenca del río bajo Nechí.

### 6.2.1 Análisis de la calidad del agua y el caudal

A continuación, se presenta el análisis de los resultados de calidad, de las campañas de monitoreo de ODC 2017, 2019, 2020, 2021 y 2023. en los cuales se analizará los cambios que se han dado en estos 5 años analizados de acuerdo con los resultados fisicoquímicos:

**Figura 13.**

*Caudal*

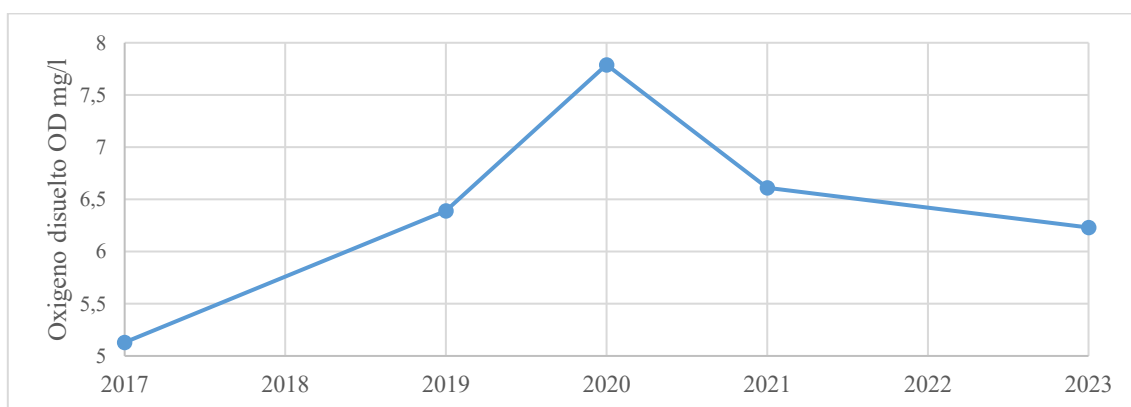


Elaboración propia con información de los monitoreos de ODC

Para el año 2017 no se tiene información de caudal disponible, en los cuatro datos de información disponible se observa un pico de caudal en el año 2020, el cual se excede la media de 733,6 m³/s, con el fin de realizar un análisis más riguroso se debería contar con un número mayor de datos, realizando los muestreos en la misma época del año.

**Figura 14.**

*Oxígeno disuelto*



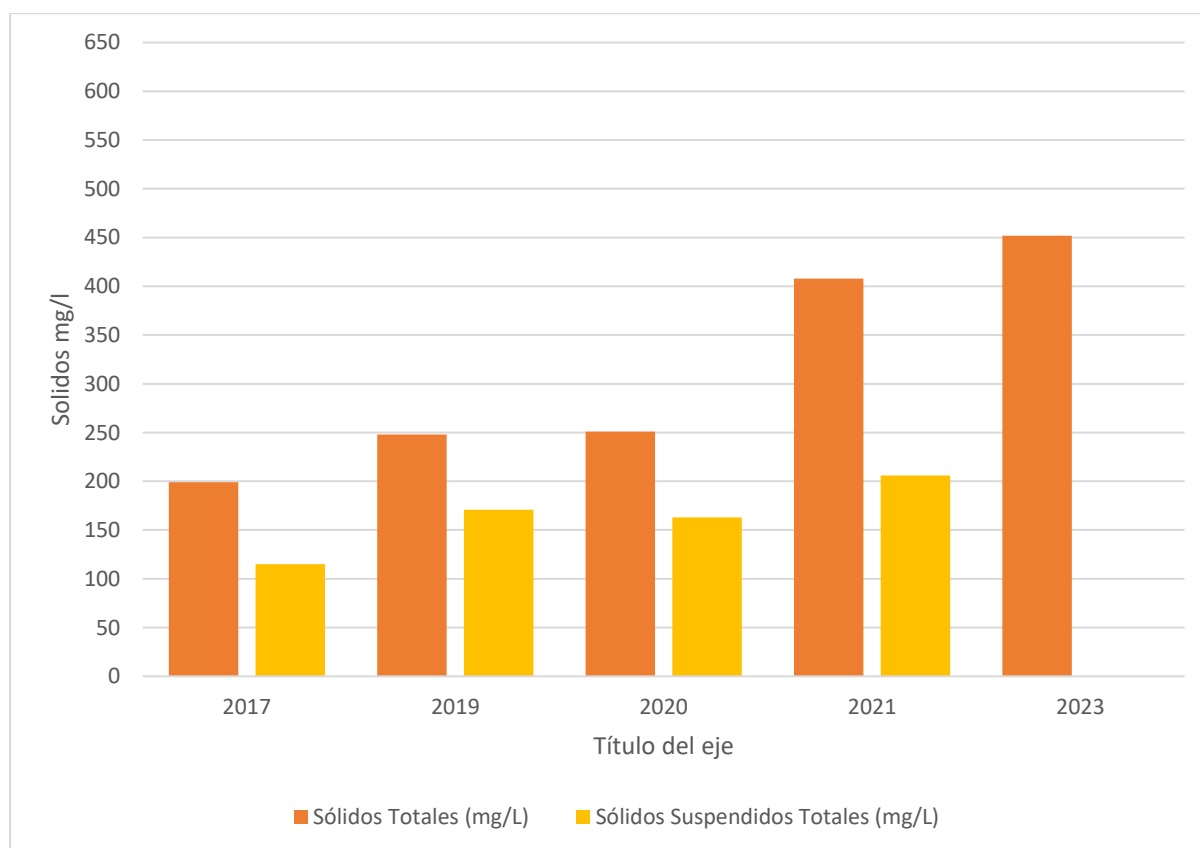
Elaboración propia con información de los monitoreos de ODC

El oxígeno disuelto es indicador de la calidad del agua y la capacidad de autodepuración de fuentes superficiales, es así que las fuentes con un oxígeno superior a 4mg/l se considera aceptable ya que a niveles menores algunas especies de invertebrados y peces comienzan a morir y se considera que el agua está contaminada (Barrenechea, n.d.).

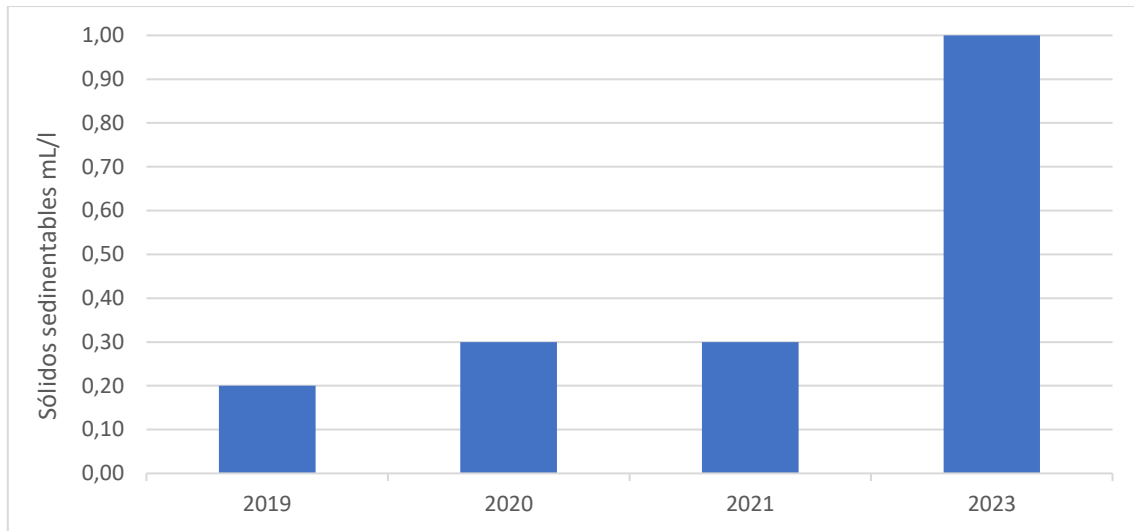
El análisis de la gráfica nos indica que el oxígeno oscila en un rango de 5 a 8 mg/l, presentando un pico en el año 2020, el cual se presentó igualmente un pico de caudal, aumentando así el flujo y la incorporación de oxígeno en el agua, el oxígeno por encima de 5 mg/l favorece la vida de especies de peces y macroinvertebrados, lo que indica que a pesar de ser esta una fuente intervenida entrópicamente conserva aún su capacidad de autodepuración (Barrenechea, n.d.).

**Figura 15.**

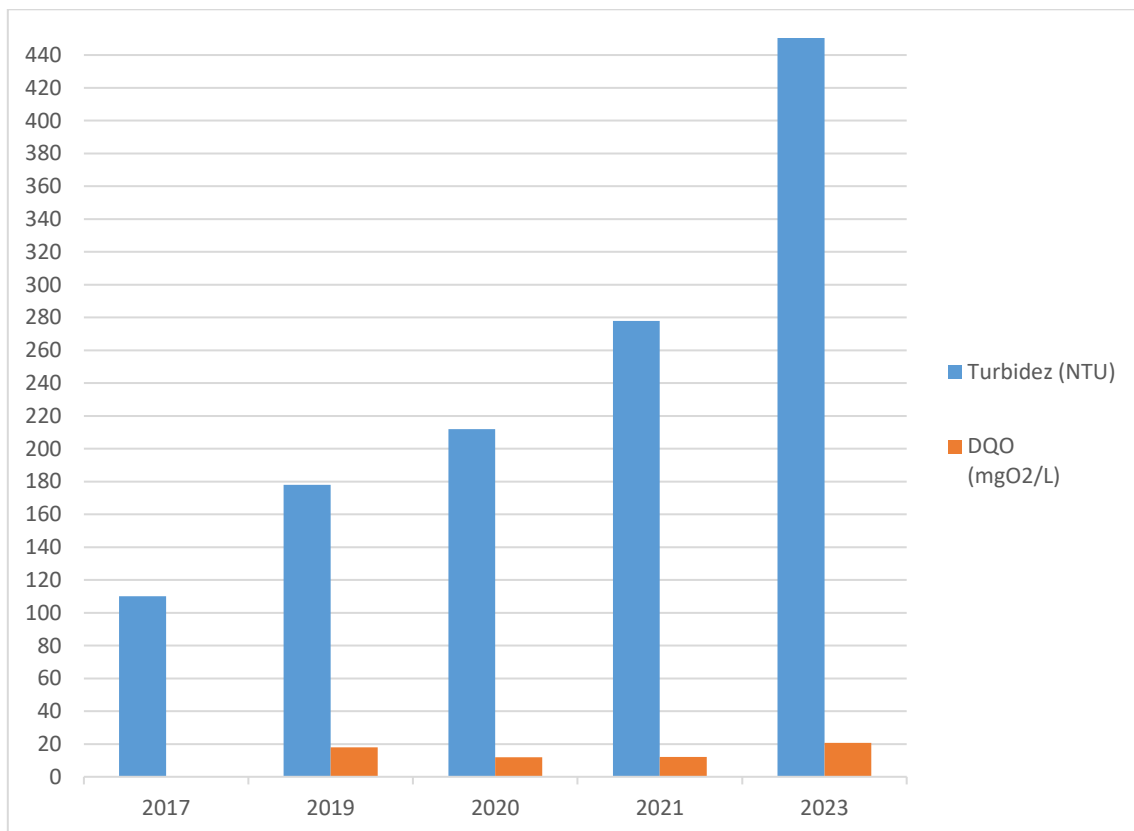
*Sólidos suspendidos y sólidos totales*



Elaboración propia con información de los monitoreos de ODC

**Figura 16.***Sólidos sedimentables*

Elaboración propia con información de los monitoreos de ODC

**Figura 17.***Turbidez y DQO*

Elaboración propia con información de los monitoreos de ODC

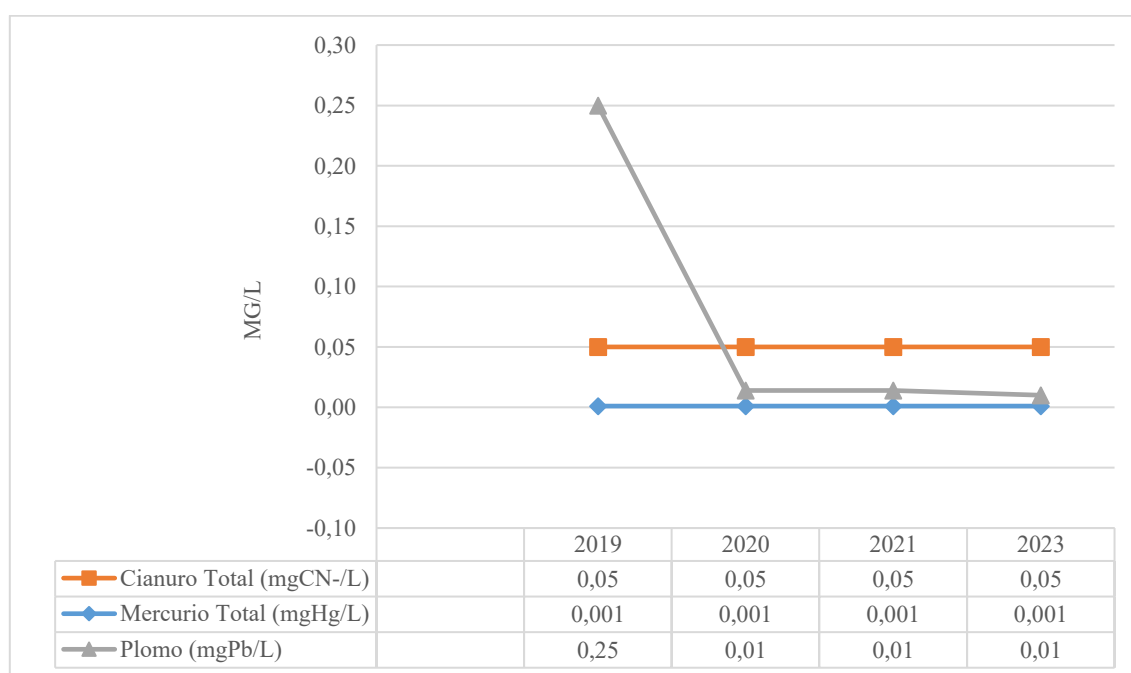
Los sólidos suspendidos están íntimamente ligados a la turbidez del agua, estos pueden estar conformados por limos, arcillas o materia orgánica y coloides. Los sólidos totales corresponden a la suma de los sólidos suspendidos y los disueltos, estos últimos mayormente formados por materia orgánica (Barrenechea, n.d.).

La gráfica muestra el aumento de la cantidad de sólidos suspendidos y la turbidez, esto posiblemente asociado a la actividad minera en el río bajo Nechí, la cual se practica de manera artesanal y a gran escala, lo que representa un factor de degradación de la calidad del río, no solo por la presencia de sólidos, sino también por materiales peligrosos asociados a la actividad de minería aurífera.

Otro de los factores a tener en cuenta es la presencia de metales pesados en el agua debido a la actividad minera de oro, tanto legal como ilegal, que utiliza mercurio y cianuro para la extracción de este mineral. Estos elementos son tóxicos para la salud humana y la fauna acuática, estos metales fueron analizados en las campañas de 2019, 2020, 2021 y 2023, sin embargo, los valores encontrados son los mínimos perceptibles por el método de análisis, se requeriría un análisis de los sedimentos para tener un acercamiento más real a la contaminación generada por estos metales. Por lo tanto, los valores que se obtienen de los monitoreos no se consideran concluyentes.

**Figura 18.**

*Metales pesados*



Elaboración propia con información de los monitoreos de ODC

Respecto al **índice de calidad del agua** se analiza con base en la hoja metodológica del IDEAM (2025) el indicador busca clasificar en cinco categorías la calidad de las aguas superficiales en un tramo o punto de monitoreo, de acuerdo a seis características fisicoquímicas, las cuales son: oxígeno disuelto OD (mg/l), sólidos suspendidos totales SST (mg/l), demanda química de oxígeno DQO (mg/l), conductividad eléctrica CE (μS/cm), relación nitrógeno total vs fósforo total N/P, potencial hidrógeno pH (unidades de pH).

Este índice se calcula con base en la siguiente formula:

**Ecuación 1.**

*Cálculo ICA*

$$ICA_j = \sum W_i * I_{ij}$$

Donde:  $W_i$  = peso relativo para la variable  $i$

$I_i$  = concentración de la variable  $i$  en el punto de monitoreo  $j$

$j$  = punto de monitoreo definido para el estudio

Fuente: (IDEAM, 2025)

**Tabla 6.**

*Importancia de las variables ICA*

| Variable                          | Unidades     | Peso de importancia<br>(ICA 6 Variables) |
|-----------------------------------|--------------|------------------------------------------|
| Oxígeno Disuelto – OD             | % Saturación | 0,17                                     |
| Sólidos Suspendidos Totales - SST | mg/L         | 0,17                                     |
| Demanda Química de Oxígeno - DQO  | mg/L         | 0,17                                     |
| Conductividad Eléctrica - C.E.    | uS/cm        | 0,17                                     |
| N total/P total – NT/PT           | mg/L/mg/L    | 0,17                                     |
| pH                                | Unidades     | 0,15                                     |

Fuente (IDEAM, 2025)

**Tabla 7.***Clasificación calidad del agua*

| Clasificación de la calidad | Rango ICA   |
|-----------------------------|-------------|
| Buena                       | 0,91 – 1,00 |
| Aceptable                   | 0,71 – 0,90 |
| Regular                     | 0,51 – 0,70 |
| Mala                        | 0,26 – 0,50 |
| Muy mala                    | 0 – 0,25    |

Fuente (IDEAM, 2025)

A continuación, se presenta la tabla con el cálculo del ICA IDEAM de seis variables:

**Tablas 8 - 9.***Cálculo ICA Río Bajo Nechí*

| Año  | Desviación de la temperatura (°C) | Para ICA IDEAM NT/PT (mgN/mgP) | li (ICA IDEAM) OD (%sat) (16%) | li (ICA IDEAM) Coliformes Termotolerantes (14%) | li (ICA IDEAM) pH (14%) | li (ICA IDEAM) DQO (14%) | li (ICA IDEAM) SST (14%) | li (ICA IDEAM) Conductividad (14%) | li (ICA IDEAM) NT/PT (14%) |
|------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 2017 | 4,40                              | 111,321                        | 0,683                          | 0,100                                           | 0,991                   | 0,125                    | 0,675                    | 0,8277                             | 0,150                      |
| 2019 | 4,30                              | 2,439                          | 0,848                          | 0,394                                           | 1,000                   | 0,910                    | 0,507                    | 0,816                              | 0,150                      |
| 2020 | 3,70                              | 50,000                         | 0,958                          | 0,100                                           | 0,852                   | 0,910                    | 0,531                    | 0,8673                             | 0,150                      |
| 2021 | 3,20                              | 10,331                         | 0,852                          | 0,100                                           | 1,000                   | 0,910                    | 0,402                    | 0,8052                             | 0,600                      |
| 2023 | 2,20                              | 43,400                         | 0,806                          | 0,100                                           | 0,966                   | 0,710                    | 0,000                    | 0,9137                             | 0,150                      |

| Año  | Desviación de la temperatura (°C) | Para ICA IDEAM NT/PT (mgN/mgP) | li (ICA IDEAM) OD (%sat) (16%) | li (ICA IDEAM) Coliformes Termotolerantes (14%) | li (ICA IDEAM) pH (14%) | li (ICA IDEAM) DQO (14%) | li (ICA IDEAM) SST (14%) | li (ICA IDEAM) Conductividad (14%) | li (ICA IDEAM) NT/PT (14%) |
|------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 2017 | 4,40                              | 111,321                        | 0,683                          | 0,100                                           | 0,991                   | 0,125                    | 0,675                    | 0,8277                             | 0,150                      |
| 2019 | 4,30                              | 2,439                          | 0,848                          | 0,394                                           | 1,000                   | 0,910                    | 0,507                    | 0,816                              | 0,150                      |
| 2020 | 3,70                              | 50,000                         | 0,958                          | 0,100                                           | 0,852                   | 0,910                    | 0,531                    | 0,8673                             | 0,150                      |
| 2021 | 3,20                              | 10,331                         | 0,852                          | 0,100                                           | 1,000                   | 0,910                    | 0,402                    | 0,8052                             | 0,600                      |
| 2023 | 2,20                              | 43,400                         | 0,806                          | 0,100                                           | 0,966                   | 0,710                    | 0,000                    | 0,9137                             | 0,150                      |

Elaboración propia con información de los análisis para ODC

Tabla 10.

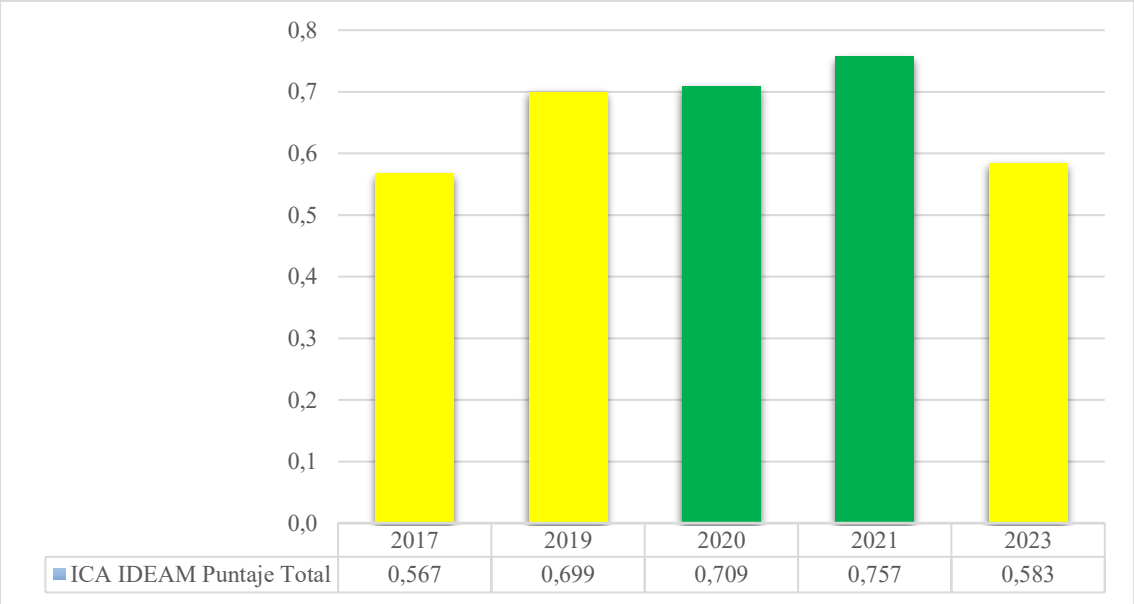
Resultado ICA río bajo Nechí

| Año  | Fecha Monitoreo | Caudal (m³/s) | ICA IDEAM Puntaje Total | ICA IDEAM Descripción calidad |
|------|-----------------|---------------|-------------------------|-------------------------------|
| 2017 | 19/12/2017      | ND            | 0,567                   | Regular                       |
| 2019 | 11/09/2019      | 595,990       | 0,6993                  | Regular                       |
| 2020 | 3/12/2020       | 1263,400      | 0,7086                  | Aceptable                     |
| 2021 | 17/12/2021      | 546,091       | 0,7568                  | Aceptable                     |
| 2023 | 6/07/2023       | 868,200       | 0,5834                  | Regular                       |

Elaboración propia con información de los análisis para ODC

Figura 19.

Resultado ICA IDEAM



Elaboración propia con información de los monitoreos de ODC

En la gráfica anterior, se observa que el ICA oscila entre 0,57 y 0,77, presentando una calidad aceptable para los años 2020 y 2021, siendo estos los de mayor caudal, por lo que se infiere que el aumento de este índice se debe principalmente a la dilución generada por el aumento en la cantidad del agua. Igualmente se muestra que 2017 presenta una menor calidad en el rango regular que los años 2019 y 2023.

### 6.2.2 *Análisis de la precipitación mensual*

Los resultados de precipitación para la cuenca del río bajo Nechí representan el régimen bimodal de lluvias, el cual se caracteriza por dos temporadas de lluvias y dos de sequías por año. Si se analiza el régimen de lluvias en las estaciones aledañas al cauce del río Nechí, las cuales corresponde a Nechí, La Esperanza Radio y El Guamo, se puede observar que el primer trimestre del año cuenta con el registro más bajo de precipitación, el cual va aumentando a medida que llega al primer pico en el mes de junio, donde se registraron las precipitaciones mensual multianuales más altas en 3 de las 4 estaciones.

Por otra parte, los valores de precipitación mensual multianual cerca a la desembocadura del río Nechí en el río Cauca, correspondientes a los registros de la estación Nechí son los más bajos de toda la cuenca, mientras que los valores de la estación Patio Bonito son los más altos en 7 de los 12 meses del año, seguido de El Guamo con los valores más altos en los 5 meses restantes, esto nos lleva a considerar la distribución de la cobertura vegetal frente a la localización de las estaciones, es decir, la estación Patio Bonito localizada en el costado Este de la cuenca está registrando los valores más altos en precipitación, siendo la zona donde se observa mayor vegetación.

**Figura 20.**

*Cobertura vegetal en la cuenca*



Elaboración propia con información de (IDEAM, n.d.-b)

Si se considera el concepto de agua verde abordada por Lyu et al. (2019), se puede identificar que este corresponde a la precipitación que se almacena en el suelo no saturado, y el flujo de agua de la evapotranspiración, donde las zonas con mayor cobertura vegetal tienen mayor capacidad de retención del agua, mayor evapotranspiración, mayor flujo de agua verde y precipitaciones más altas relativamente, esta podría ser una de las razones por la cuales hay mayor precipitación registrada en Patio Bonito.

Sin embargo, la segunda estación con mayor precipitación es El Guamo, una zona que se observa en la imagen satelital en estado de deforestación, así que allí la presencia de cuerpos de agua superficiales como son el cauce principal río Nechí y las derivaciones de este por la intervención en el cauce podrían estar interviniendo en el ciclo del agua.

Además, se debe considerar fenómenos como el ENSO y la ZCIT, los cuales producen cambios en los patrones de tipo hidro climáticos, es decir, variabilidad en la distribución de la temporada de lluvias dada la orografía del territorio y la dinámica de la circulación local atmosférica que potencian la convección profunda y favorecen la formación de lluvia tropical (Naranjo et al., 2019), estas condiciones podrían ser la causa de las variaciones en la distribución de la precipitación, dada la condiciones del entorno donde se ubica cada estación.

### 6.2.3 Comparación entre la precipitación, el caudal y la calidad del recurso hídrico

Con relación a la variabilidad climática, el IDEAM presenta el seguimiento al ciclo ENOS, boletín donde tiene en cuenta el índice multivariado del ciclo El Niño oscilación del sur, para el cual valores  $\geq 0,5$  corresponden a años **El Niño**,  $> -0,5 < 0,5$  año Neutral y  $\leq -0,5$  años **La Niña** (IDEAM, 2022). Para identificar los años El Niño, La Niña y Neutral el IDEAM toma información de la página de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos, la cual presentaron la siguiente información:

**Tabla 11.**

*Años El Niño, Neutral y La Niña periodo 2015 al 2024*

| Año  | DJ   | JF   | FM   | MA   | AM  | MJ   | JJ   | JA   | AS   | SO   | ON   | ND   |
|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 2015 | 0,2  | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 1   | 1,9  | 1,8  | 2    | 2,2  | 2,2  | 1,9  | 1,9  |
| 2016 | 1,9  | 1,8  | 1,3  | 1,3  | 1,2 | 0,4  | -0,5 | -0,3 | -0,3 | -0,5 | -0,5 | -0,4 |
| 2017 | -0,4 | -0,4 | -0,6 | -0,2 | 0,2 | -0,2 | -0,6 | -0,7 | -0,7 | -0,6 | -0,6 | -0,7 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2018 | -0,8 | -0,7 | -0,8 | -1,3 | -0,9 | -0,5 | 0    | 0,5  | 0,6  | 0,5  | 0,3  | 0,2  |
| 2019 | 0,1  | 0,5  | 0,8  | 0,3  | 0,2  | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 0,5  | 0,4  |
| 2020 | 0,3  | 0,3  | 0,1  | -0,1 | -0,2 | -0,7 | -0,9 | -1   | -1,1 | -1,2 | -1,1 | -1,1 |
| 2021 | -1,2 | -1   | -0,8 | -0,9 | -1,1 | -1   | -1,4 | -1,3 | -1,4 | -1,5 | -1,4 | -1,2 |
| 2022 | -1   | -1   | -1,3 | -1,6 | -1,6 | -1,9 | -2,2 | -1,7 | -1,7 | -1,7 | -1,5 | -1,3 |
| 2023 | -1,1 | -0,9 | -0,8 | -0,4 | -0,1 | 0,4  | 0,5  | 0,5  | 0,7  | 0,5  | 0,9  | 1,1  |
| 2024 | 0,7  | 0,7  | 0,8  | 0,3  | 0,1  | -0,2 | -0,7 | -0,7 | -0,6 | -0,5 | -0,7 | 0,9  |

Información tomada de (NOAA, 2025)

Si se considera que los meses mayo-junio y octubre-noviembre corresponden a los meses con mayor precipitación mensual multianual de acuerdo con lo registrado en las estaciones del IDEAM y en comparación con la tabla del ciclo ENOS se puede observar que en estos meses prevalece La Niña sobre la ocurrencia de El Niño.

Así mismo, los años en los que se registraron las precipitaciones mensuales más altas en las 4 estaciones corresponden a junio de 2024 y 2022 para la estación Patio bonito, años en los cuales para junio- julio se registró La Niña y en mayo-junio se registró La Niña para el año 2022 y Neutral para el año 2024.

Respecto a agosto y octubre de 2021 correspondiente a las precipitaciones más altas en la estación Nechí, se puede observar que el fenómeno registrado fue La Niña. Para los meses mayo y junio de 2018 correspondiente a las precipitaciones más altas en la estación La Esperanza Radio, se puede identificar que el fenómeno La Niña. Finalmente, para la estación El Guamo, agosto y julio de 2021 fueron los meses con mayor precipitación con ocurrencia del fenómeno La Niña.

Por otra parte, los años 2017, 2018, 2020, 2021, 2022 y 2024 corresponden a los años donde el fenómeno de La Niña se manifiesta en la mayoría de los meses. De estos el 2021 y 2022 fueron en su totalidad años La Niña, iniciando el fenómeno en mayo-junio de 2020, año en el cual se registró un pico de caudal para el mes de diciembre en los monitoreos de CORANTIOQUIA. Según la información de la estación del IDEAM denominada La Esperanza Nechí, el caudal máximo para el periodo 2015 a 2024, se registró en el mes de mayo de 2018, seguido a junio de este mismo año y agosto de 2021, meses en los que se manifestó La Niña.

Respecto a la calidad del agua de acuerdo con los análisis realizados por CORANTIOQUIA se observa un índice de calidad del agua aceptable, esto debido a la dilución que genera un mayor caudal situación que se puede observar en el año 2020-2021, correspondientes a años La Niña.

Por otra parte, no se cuentan con datos de calidad que permitan inferir el aumento en la concentración de los contaminantes para los años El Niño. Sin embargo, según el registro de caudales del IDEAM el valor mínimo registrado para el periodo 2015-2024 corresponde a marzo de 2024 mes en El Niño según bimestre febrero-marzo.

En cuanto a las estaciones de precipitación los años en los que se registraron las precipitaciones mensuales más bajas en las 4 estaciones corresponden a febrero de 2019 para la estación Patio bonito, en el cual para enero- febrero se registró El Niño y en febrero-marzo se registró El Niño.

Respecto a febrero de los años 2018, 2020 y 2023 en la estación Nechí no se registra precipitación en estas fechas, cuyo mes está clasificado como La Niña y Neutral. Para los meses de enero de 2024, febrero de 2020 y marzo de 2016, no se registra la ocurrencia de precipitación en la estación La Esperanza Radio, estos meses corresponden al fenómeno El Niño y Neutral.

Respecto a la calidad el agua de acuerdo con los análisis realizados por CORANTIOQUIA se observa un índice de calidad del agua regular para los años 2019 y 2023, lo cual se puede asociar con la manifestación de El Niño, el cual implica periodos con disminución de lluvias.

#### ***6.2.4 Análisis de las respuestas de la encuesta de percepción***

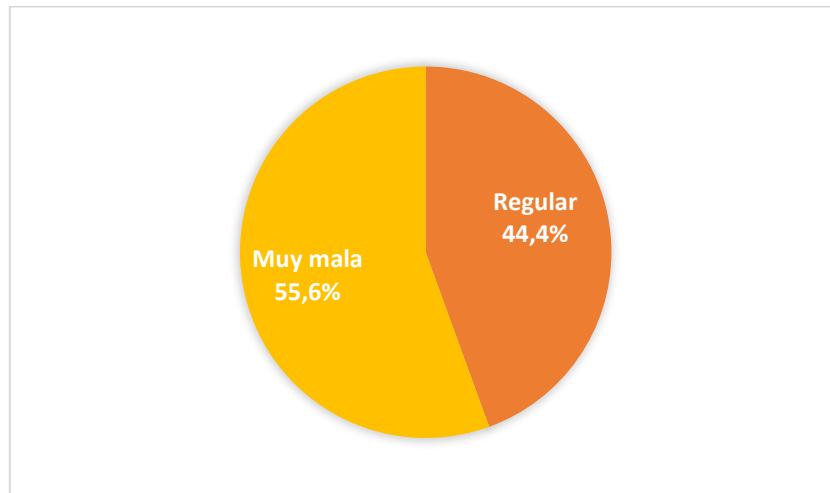
Se aplicó encuesta de percepción a 18 funcionarios técnicos pertenecientes a la alcaldía de Nechí, alcaldía de El Bagre y CORANTIOQUIA, quienes contestaron 15 preguntas con enfoque en la calidad del agua, dinámicas sociales, eventos ocurridos y actividades económicas.

La primera pregunta corresponde a Municipio y/o entidad que representa, con esta pregunta se identificó que, de las 18 personas encuestadas 6 corresponden a CORANTIOQUIA y 12 a las dos alcaldías municipales. Luego, se preguntó ¿Cómo calificaría la calidad del agua del río Bajo Nechí en su territorio?, brindando 4 opciones de selección muy buena, buena,

regular y muy mala, obteniendo como resultado que el 55,6% de los encuestados indicaron muy mala y el 44,4% regular.

**Figura 21.**

*Calidad del agua en el río bajo Nechí*

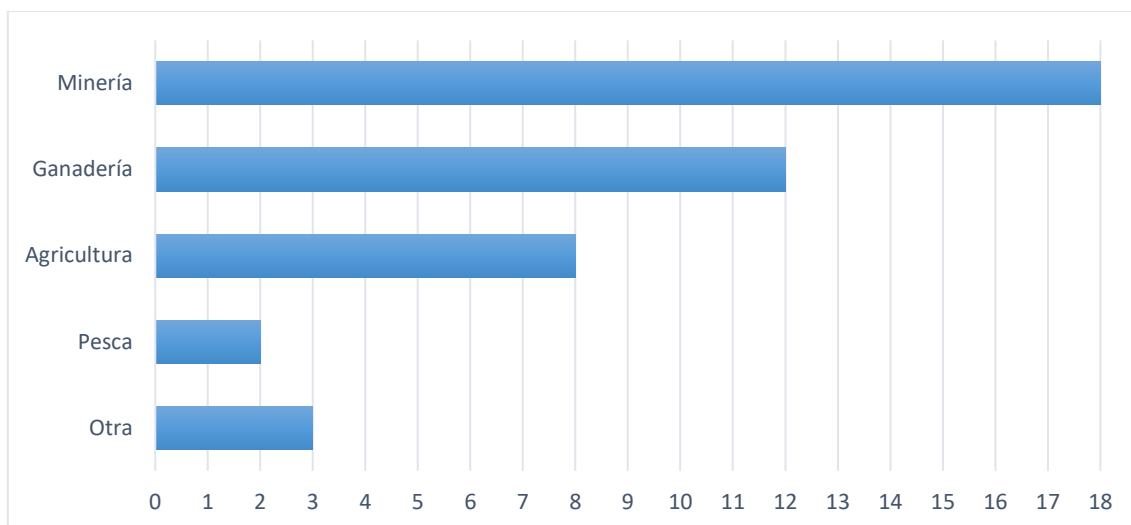


Elaboración propia

Estos resultados resaltan una problemática evidente para la calidad del agua en el río bajo Nechí, el cual se encuentra en condiciones regulares a muy malas. Para comprender que dinámicas están asociadas a esta condición según la percepción de los encuestados se presenta la pregunta 3, la cual corresponde a ¿Cuáles son las principales actividades económicas que afectan la calidad del agua en la región?, esta pregunta le brindaba a los encuestados opción de respuesta múltiple donde ellos podían seleccionar todas las opciones que consideraban que aplicaban como respuesta, estas opciones son minería, pesca, agricultura, ganadería y un campo para otros donde ellos indicaron actividades como la generación de energía con la hidroeléctrica Hidroituango, la industria, comercio y sistemas de alcantarillado.

**Figura 22.**

*Actividades económicas que afectan la calidad del agua en la región*

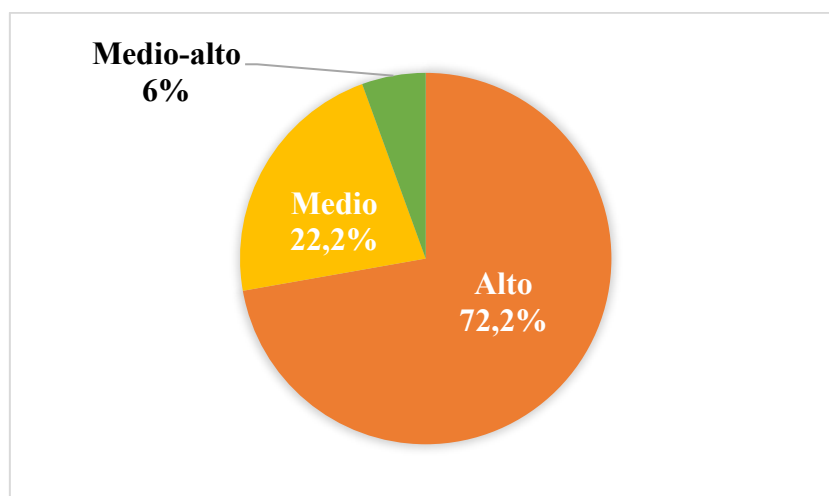


Elaboración propia

De acuerdo con los resultados la minería y la ganadería son las actividades que más asocian con la afectación en la calidad del agua. De igual forma, se preguntó sobre el estado del río bajo Nechí en cuanto al nivel de contaminación y caudal (relacionado con el nivel del agua), para esta cuarta pregunta correspondiente a: Según su percepción, ¿cómo evaluaría el estado del río Bajo Nechí?, se le brindó a los encuestados 3 opciones de respuesta bajo, medio y alto, obteniendo como resultado que el 72,2% de los encuestados consideran que el nivel de contaminación es alto y el 50% considera que el caudal (o nivel del agua) es alto.

**Figura 23.**

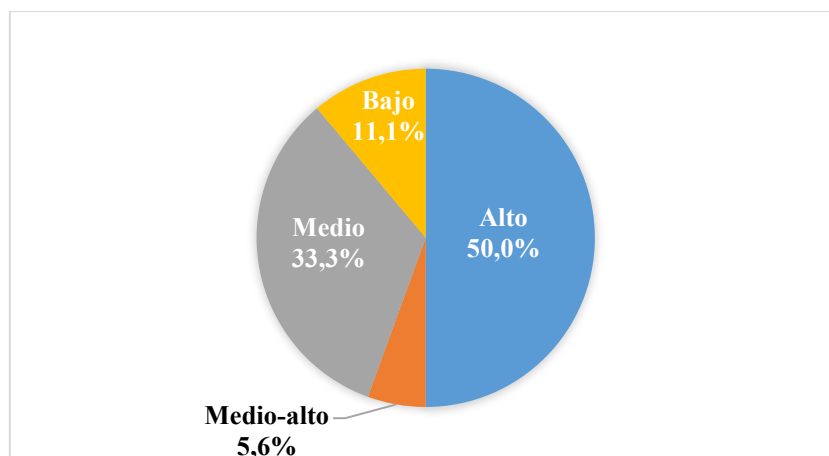
*Percepción del nivel de contaminación del agua*



Elaboración propia

**Figura 24.**

*Percepción del caudal (nivel del agua)*

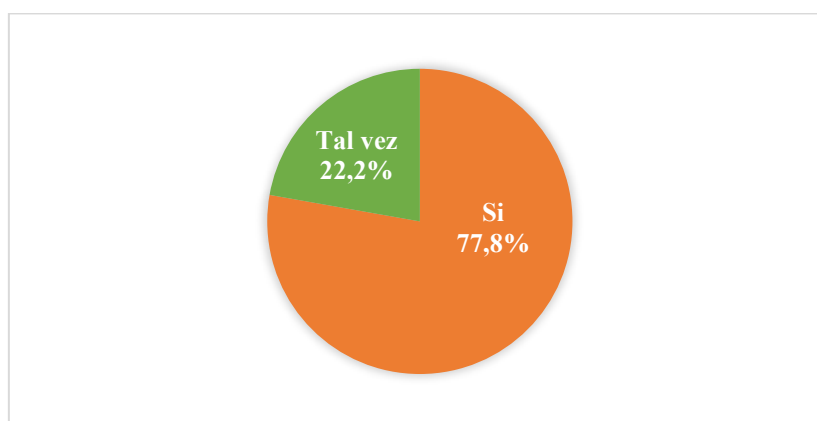


Elaboración propia

Estos resultados brindan un escenario para el río bajo Nechí donde el 50% de los funcionarios encuestados tienen una percepción de un nivel alto del río, así como el 72,2% de los encuestados indicó altos niveles de contaminación, esto puede conllevar no solo a emergencias por inundaciones sino también a una problemática sanitaria por las condiciones en la calidad del agua y la afectación en la vida acuática. Para complementar este escenario de percepción, bajo el enfoque de la vida acuática, se formuló la quinta pregunta, la cual corresponde a En los últimos 10 años, ¿la contaminación ha afectado la cantidad de peces en el río Bajo Nechí?, en este caso el encuestado tenía tres opciones de respuesta sí, no y tal vez, siendo la opción sí con un 77,8%, aquella que permite identificar la relación entre la contaminación del agua y la cantidad de peces en el río bajo Nechí.

**Figura 25.**

*Percepción sobre la afectación de la contaminación en la cantidad de peces*



Elaboración propia

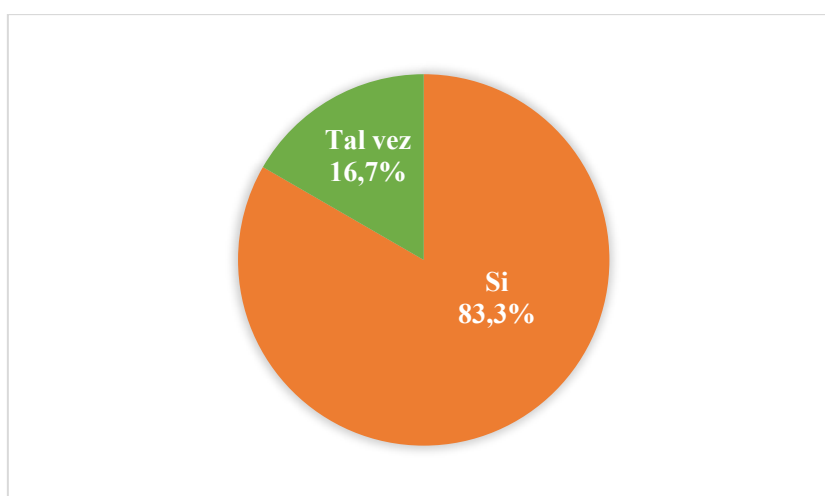
La siguiente pregunta corresponde al argumento dado por los encuestados a la pregunta 5, es decir, por qué eligieron la opción sí o tal vez para indicar que la contaminación del agua afectaba la cantidad de peces en el río bajo Nechí, para aquellos que indicaron tal vez su respuesta se debe a la falta de datos o información al respecto.

Respecto a las personas que contestaron sí, los argumentos fueron orientados hacia los niveles de mercurio y otros metales pesados en los peces por el desarrollo de actividades antrópicas, la ganadería extensiva y la agricultura que aportan contaminación a los cuerpos de agua disminuyendo el oxígeno disponible para la vida acuática, las mortandades de peces que ha atendido la corporación autónoma en esta zona, la disminución en las especies y cantidad de peces, la sustitución de la actividad pesquera por la minería, la afectación en la salud humana por el consumo de peces con metales pesados, la compra de alimentos en otros municipios por el miedo a la contaminación presente, la afectación por el volteo de tierras y la modificación de afluentes que altera el desove y desarrollo de larvas de peces.

Luego, se planteó la pregunta 7 correspondiente a ¿Considera que la contaminación del río Bajo Nechí ha impactado las dinámicas y actividades socioeconómicas en el territorio?, para esto los encuestados tenían 3 opciones de respuesta (sí, no y tal vez), siendo la opción sí seleccionada por el 83,3% de los encuestados, con estas respuestas se identifica que si existe un impacto de la contaminación del río bajo Nechí en las dinámicas socioeconómicas que se desarrolla en la cuenca.

**Figura 26.**

*Percepción sobre la contaminación del río Nechí y las dinámicas socioeconómicas*



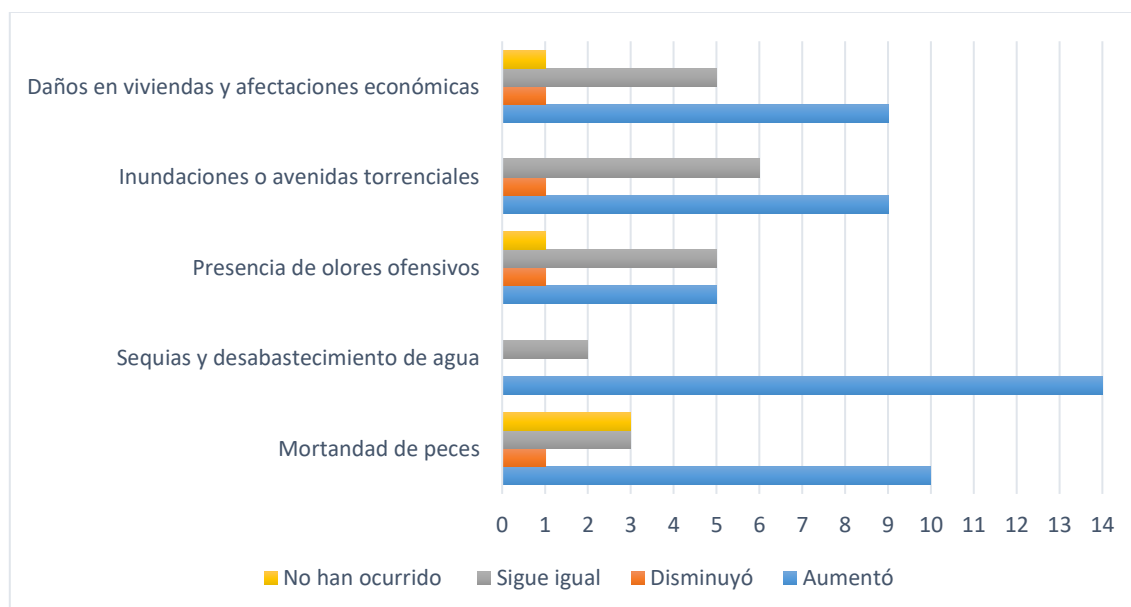
Elaboración propia

Para entender mejor esta respuesta a la pregunta 7, se procede a preguntar a los encuestados ¿Por qué cree que la contaminación ha afectado o no las actividades socioeconómicas?, obtenido respuestas que se resumen en: los pescadores ahora realizan otras actividades, los diques y sus rompimientos han afectado la agricultura, se ha afectado la piscicultura, la pesca se ha disminuido por la contaminación del recurso natural, hay fraccionamiento de ecosistemas que limita el uso de los recursos forestales para la alimentación y subsistencia, hay minera a gran escala, las zonas que eran para la pesca han sido intervenidas por la minería legal e ilegal, las áreas para la agricultura han sido degradadas, en años anteriores se veían más peces para consumo con un menor precio y se han presentado conflictos del orden público por uso del agua que afectan a la comunidad.

Una vez abordadas las preguntas relacionadas con las actividades económicas en la zona de estudio y la calidad del agua, se procede a plantear la pregunta 9 sobre ¿Cuáles de los siguientes eventos han ocurrido en los últimos 10 años?, para esto los encuestados contaban con selección múltiple que incluye las opciones como mortandad de peces, sequías y desabastecimiento de agua, presencia de olores ofensivos, inundaciones o avenidas torrenciales y daños en viviendas y afectaciones económicas, las cuales debían ser calificadas en una escala que incluye las opciones aumentó, disminuyó, sigue igual y no han ocurrido, obteniendo los siguientes resultados.

**Figura 27.**

*Eventos ocurridos en los últimos 10 años*



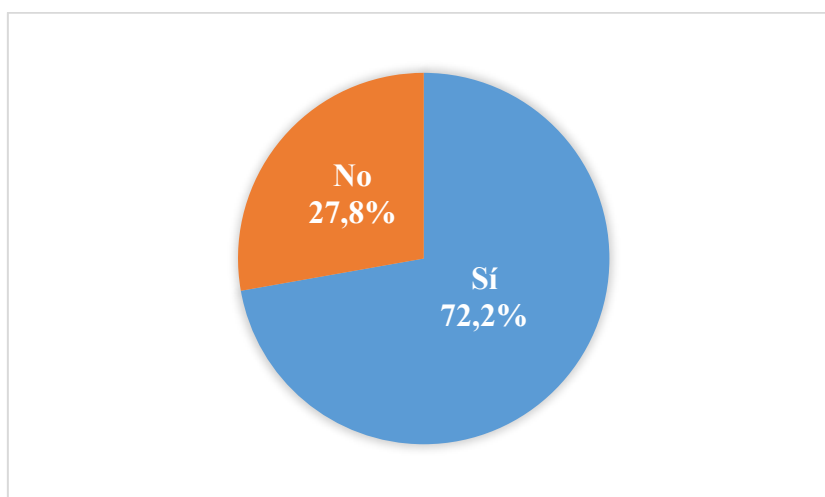
Elaboración propia

Las respuestas dadas permiten identificar las sequías y el desabastecimiento de agua como otro escenario a considerar, al igual que la mortandad de peces seguido de las inundaciones, los daños a viviendas y afectaciones económicas se posicionan entre los eventos con mayor selección en la categoría de aumento para los últimos 10 años.

Con el fin de conocer la percepción sobre la variabilidad climática y su relación con los cambios en la calidad del agua, se plantea la pregunta ¿Considera que la variabilidad climática está relacionada con los cambios en la calidad del agua en el territorio?, para lo cual 72,2% de las personas contestaron sí.

**Figura 28.**

*Relación de la variabilidad climática y los cambios en la calidad del agua*



Elaboración propia

Luego, se solicita a los encuestados que expliquen la respuesta anterior, por lo cual ellos indicaron que las sequías e inundaciones extremas hacen que no funcionen los posibles filtros naturales; la evapotranspiración del río no se realiza de forma adecuada; los patrones climáticos ejercen presión social en el recurso hídrico, porque en temporada de sequías el uso del agua es para la ganadería y agricultura, esta actividad hace uso de pesticidas e insecticidas generando contaminación local por no tener caudal de dispersión; en el caso de la temporada de lluvias es mayor la probabilidad de que lleguen contaminantes de otros sectores; otras personas contestaron que no hay incidencia directa.

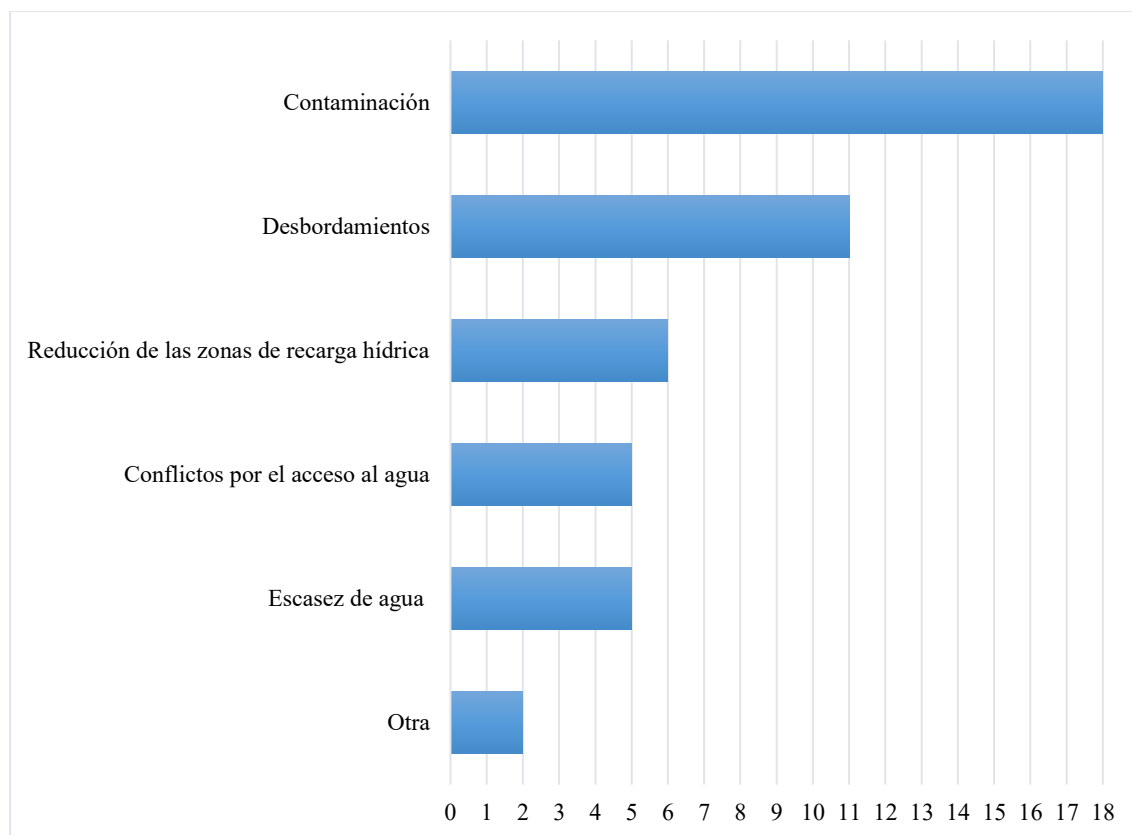
También se señaló a la minería como uno de los principales problemas, junto a la variabilidad climática que influye en la calidad del agua por factores como la precipitación, temperatura, nubosidad y otros factores, sin embargo, indicaron que a corto plazo no se pueden

atribuir los cambios solo al clima, resaltando que la calidad del agua está afectada por actividades antrópicas como la minería con los vertimientos que contienen químicos para la separación del oro, la ganadería extensiva por la deforestación y la agricultura por el uso de fertilizantes. Además, indicaron que las afectaciones climáticas se relacionan con las actividades en todo el planeta; la variabilidad climática como efecto del cambio climático altera el ciclo del agua, disminuyendo la disponibilidad del recurso, favoreciendo el aumento de la concentración de contaminantes por la menor dilución y en consecuencia alterando la calidad del agua.

De igual forma, se asocian los cambios de la calidad del río, con el aumento en las precipitaciones en periodos cortos que generan movimientos en masa, deslizamientos y otros que afectan su calidad; al igual que la población asentada alrededor del río y efectos extremos que vivencian como caños, ciénagas y quebradas que pierden sus causas, esta situación la asocian el aumento de la sedimentación, la baja disponibilidad de oxígeno y por consecuencia la disminución de la asimilación de contaminantes.

Con base en las respuesta recibidas se puede deducir que el escenario más recurrente es el aporte de contaminantes por el desarrollo de actividades antrópicas como minería y agricultura las cuales usan sustancias toxicas bien sea para la separación del oro o para la fertilización y control de plagas en los cultivos, esta situación antrópica se suma a las dinámicas climáticas como los picos de precipitación y las sequías, las cuales generan una dinámica en el ciclo del agua en la cuenca, favoreciendo en algunos casos la concentración de los contaminantes en el agua por el bajo caudal o en caso contrario conduciendo hacia los cauces contaminantes presentes en el suelo por medio de la escorrentía en temporada de fuertes precipitaciones.

Para identificar mejor que problemas relacionan los encuestados con el recurso hídrico, la pregunta 12 corresponde a ¿Cuáles han sido los principales problemas relacionados con el recurso hídrico en la cuenca del río Bajo Nechí en los últimos años?, esta pregunta de opción múltiple daba las opciones de escasez de agua, contaminación, desbordamientos, reducción de las zonas de recarga hídrica, conflictos por el acceso al agua y otra que corresponde al campo para que los encuestados indicaran otra problemática, es así que 1 persona indicó aumento del cambio climático, desplazamiento en búsqueda de agua potable y 1 persona indicó la minería. La principal problemática según los resultados es la contaminación, seguida de los desbordamientos.

**Figura 29.***Principales problemas relacionados con el recurso hídrico*

Elaboración propia

Luego se preguntó ¿Qué medidas considera necesarias para mejorar la calidad del agua en la cuenca del río Bajo Nechí?, obteniendo como respuestas: más soluciones basadas en la naturaleza, el fortalecimiento de estrategias para mejorar la calidad y una mejor gobernanza en torno a las actividades que generan conflictos en el uso del agua; la minería responsable y actividad agropecuaria sostenible; control sobre la minería ilegal, más áreas protegidas que incluyan recarga de acuíferos y cuerpos de agua, garantizar la conectividad ecológica; implementación de planes de manejo ambiental; disminuir o detener la minería ilegal, concientización de la población y las empresas sobre la contaminación del río.

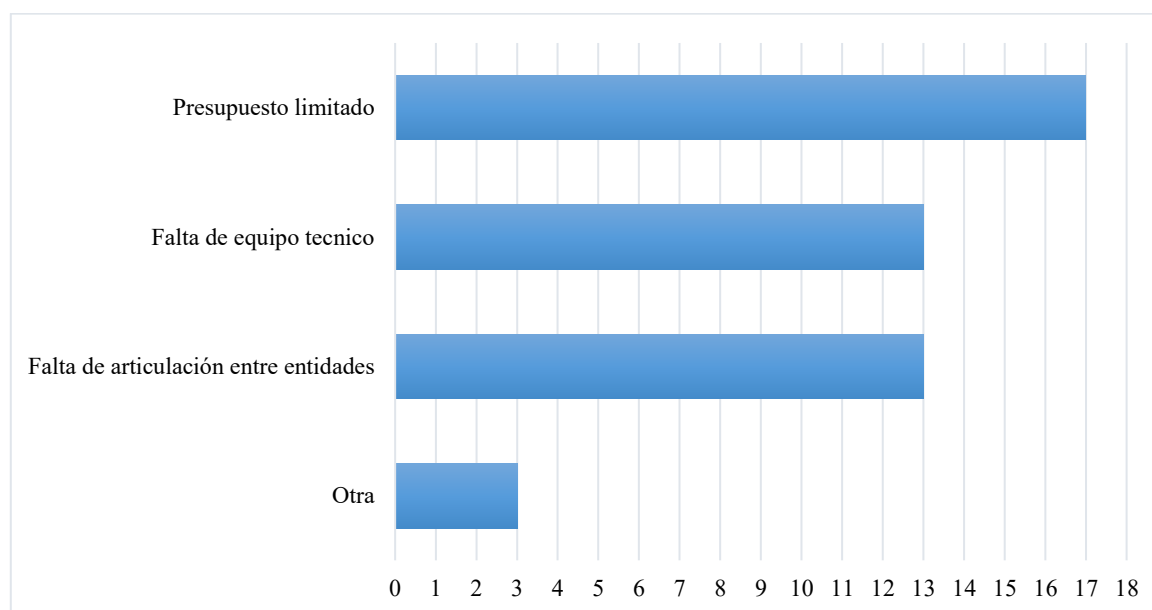
Adicional a esto se resalta el aumento de la minería y la presencia de grupos armados ilegales que limitan la implementación de las medidas, ya que la comunidad y los funcionarios están en riesgo. También se indicó el control a la deforestación y la construcción de plantas de tratamiento; medidas de saneamiento y gestión del recurso hídrico entre estos el tratamiento de las aguas residuales, la reducción en la contaminación industrial y agrícola, la conservación de los ecosistemas; la construcción de colectores de aguas residuales y el control de la ganadería

bufalina, además del cumplimiento de las obligaciones ambientales por parte del sector económico.

Seguido a esto se preguntó ¿Cuáles son las principales limitaciones que enfrenta la entidad que representa (Alcaldía / Corporación Autónoma) en la gestión del agua?, ya que no se puede seleccionar la mejor alternativa si no se conocen las limitaciones de los entes en el territorio, el éxito en la conservación y protección ambiental está en poder llevar a cabo las estrategias planteadas. Para esto se indicaron como opciones presupuesto limitado, falta de equipo técnico, falta de articulación entre entidades y un campo para otra, en la cual los encuestados indicaron como limitaciones adicionales la falta de gestión y sentido común, carencia de recurso humano especializado y laboratorios, la falta de mayor control ambiental de los proyectos legales e ilegales en el territorio y el poco interés de aperturar procesos sancionatorios.

**Figura 30.**

*Principales limitaciones en la gestión del agua*



Elaboración propia

Por último, se preguntó ¿Considera que este trabajo de grado sobre el análisis de los cambios en el recurso hídrico de la cuenca del río Bajo Nechí y la formulación de estrategias de mitigación frente a la variabilidad climática sería útil para su entidad?, para lo cual el 94,4% de los encuestados respondió sí.

**Figura 31.***Utilidad del trabajo de grado planteado*

Elaboración propia

### ***6.2.5 Análisis de los resultados de la encuesta de percepción en relación con los resultados de calidad, caudal y precipitación.***

La contaminación y los cambios de calidad del agua en la cuenca del río bajo Nechí ha llevado a un bajo nivel de desarrollo actividades como la pesca, ya que en el agua se encuentran sustancias tóxicas como el mercurio. De acuerdo con El Garouani et al. (2024) el uso insostenible del recurso hídrico es una de las causas de la escasez del agua, además la falta de infraestructura de saneamiento y la disminución de las precipitaciones genera vulnerabilidad hídrica.

Si bien se tienen algunos resultados de análisis de calidad del agua en la cuenca, estos son pocos para determinar cómo es realmente la calidad del río bajo Nechí, por lo cual sería necesario adelantar monitoreos más rigurosos y periódicos para determinar el nivel de afectación de las acciones antrópicas sobre el recurso.

A pesar de tenerse una marcada época de estiaje en la cuenca, los caudales más bajos registrados en el río según los datos de CORANTIOQUIA y el IDEAM, proporcionan un caudal que permite procesos de navegación, pesca y agricultura. Sin embargo, la presencia de sustancias tóxicas en el agua ha conllevado a que la comunidad decida comprar los alimentos en otras zonas por miedo a contraer una enfermedad transmitida por alimentos – ETA.

Con relación a los sedimentos desde la alcaldía municipal de El Bagre se están solicitando acciones de dragado dada la acumulación de sedimentos por causa de las constantes

inundaciones que se presentan en el municipio y a causa del alto nivel del río Nechí (TeleMEDELLIN, 2025). Igualmente, en las encuestas de percepción realizadas se identificó que una de las problemáticas más impactantes es el desbordamiento del río.

Con base en las encuestas de percepción, se identifica que la calidad del agua en el río bajo Nechí ha disminuido debido a actividades como minería y ganadería, lo que coincide con el aumento de sólidos suspendidos encontrados en las campañas de monitoreo analizadas. Respecto al caudal se identifica que la población indica épocas con aumento notable y otras que disminuye conforme la variabilidad climática, lo que coincide con el régimen bimodal analizado.

Además, en la encuesta se observa que la comunidad reconoce el río como eje principal de subsistencia, medio de transporte y recurso vital e indican que la mortandad de peces y el desabastecimiento de agua son eventos que afectan la economía de la región en época de sequía, mientras que los desbordamientos del río bajo Nechí son la principal problemática en época de lluvias generando pérdidas económicas en hogares y cultivos.

De igual forma se reconoce la falta de acción por parte de los entes territoriales como parte de la problemática ambiental y social en la cuenca, se indica que las principales falencias son la falta de presupuesto para inversión pública, escasez de equipo técnico y la poca articulación entre las entidades, esto es corroborado con la poca información técnica encontrada a nivel de calidad del agua por parte de CORANTIOQUIA.

De lo anterior se identifican los eventos más recurrentes en la zona relacionados con el recurso hídrico y la variabilidad climática, tales como las inundaciones, la mortandad de peces, la contaminación del agua y el estiaje. Respecto a las inundaciones son recurrentes en la cuenca y se dan principalmente a causa de la temporada de lluvias, también cuando se da apertura a las puertas de la central hidroeléctrica Porce y por la ruptura de jarillones.

En el documento titulado “*El recurso hídrico en la jurisdicción de CORANTIOQUIA*”, se categorizan los municipios con mayor ocurrencia de eventos de inundación entre 1931 - 1999, siendo Nechí el segundo municipio que más eventos presentó, con un total de 33. Algunos de estos eventos fueron:

- Julio de 2022: Por temporada de lluvias El municipio de El Bagre presenta inundaciones severas que afectaron más de la mitad del municipio con cientos de

familias damnificadas, los niveles de agua superaron los 40 centímetros en algunas áreas (Redacción BLU Radio, 2022).

- Agosto 2021: 17 barrios y tres corregimientos de Nechí inundados por creciente súbita del río Nechí y el río Cauca (López, 2021).
- Mayo 2017: Por desbordamiento del río Nechí y el río Cauca el municipio de Nechí se tienen 3500 familias afectadas por lo cual se declara calamidad pública (Isaza, 2017).

Los **ecocidios por mortandad de peces** se han presentado por eventos de estiaje, rompimiento de jarillones, descarga de residuos de la minería con generación de sedimentos producto del material que contiene metales pesados y reduce el oxígeno en el agua, especialmente en ciénagas y caños que descargan al río Nechí, siendo un evento histórico con ocurrencia en varias oportunidades. De estos se registran los siguiente:

- Mayo de 2018: Centenares de peces muertos en los humedales del río Nechí, la población culpa a Mineros SA por la descarga de toneladas de sedimentos (Observatorio de Derechos Humanos y Paz, 2018).
- Julio de 2021: Por un jarillón roto, hecho por Mineros S.A sin permiso de la autoridad ambiental, se dio la muerte de miles de peces en las ciénagas y los humedales de Nechí (Gallego, 2021).

La **Contaminación del Agua** se ha convertido en un problema en el río Nechí, relacionado directamente con la actividad minera aurífera por el uso de mercurio, cianuro y plomo entre otros, lo que afecta la cadena trófica y representa un riesgo para la salud humana. Otro factor de esta contaminación es la remoción de tierra y el dragado en la minería que genera grandes cantidades de sólidos suspendidos y sedimentos, lo cuales se relacionan con la degradación la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. Ejemplo de esto es:

- Marzo de 2024: los Análisis realizados por la procuraduría en el río Nechí generan alerta por contaminación de mercurio y arsénico (Procuraduría General de la Nación, 2024).

El **estiaje** en la cuenca del río bajo Nechí se experimenta en periodos de disminución de caudales regularmente entre diciembre a marzo y julio. De igual forma. la alta sedimentación en los ríos causada por la minería reduce la profundidad y el volumen de agua en los cauces,

lo que puede exacerbar los efectos de la sequía, haciendo que tramos de los ríos y ciénagas se sequen más rápidamente o sean intransitables para embarcaciones.

En algunas áreas, la alteración del paisaje y las fuentes hídricas por la minería han afectado la disponibilidad de agua durante los períodos secos, impactando tanto a la población como a la agricultura y ganadería. Un ejemplo de esto es:

- Septiembre de 2015: Río Nechí entre los ríos más afectados por la sequía que deja el fenómeno del niño (El Tiempo, n.d.).

Por último, se debe destacar que estos eventos tienden a ser cíclicos y recíprocos, ya que la minería aumenta los efectos adversos generados durante las inundaciones, por la contaminación del agua y la mortandad de peces, dada la alteración del cauce del río.

### **6.3 Tercer objetivo: Formular estrategias de mitigación ante los efectos de la variabilidad climática asociados al recurso hídrico en la cuenca del río bajo Nechí.**

Teniendo en cuenta la información consultada y los resultados de los análisis se plantean las siguientes estrategias para la mitigación de los efectos de la variabilidad climática en la cuenca del río bajo Nechí:

**Estrategia 1:** Diagnosticar e implementar acciones de reforestación en áreas priorizadas y aledañas al cauce del río Nechí, como medida para la mitigación de los efectos de la variabilidad climática, orientada a la captura del carbono, la recuperación de las zonas boscosas, la restauración de los ecosistemas y la siembra de árboles nativos que permitan mejorar la infiltración del agua, regular la temperatura mediante la generación de microclimas y fortalecer la resiliencia del territorio.

- **Responsable:** Alcaldías municipales, CORANTIOQUIA y las empresas con licencia ambiental.
- **Modo de implementación:** Se sugiere a las alcaldías liderar mesas de trabajo con las empresas, CORANTIOQUIA y el ANLA para la formulación de un diagnóstico que permita identificar los puntos más críticos en términos de deforestación en la cuenca y poder establecer con mayor precisión cuantas hectáreas se deben reforestar.

Posterior a esto, iniciar el desarrollo de las compensaciones ambientales en las zonas con mayor deforestación y en minas abandonadas, estableciendo un plan de

acción que incluya tanto a los actores privados con licencia ambiental como a las entidades del Estado, de modo que se tenga claridad sobre las áreas en las cuales las acciones de reforestación corresponderán a la compensación que debe hacer la empresa y cuáles serían las áreas adicionales que requieren de este proceso y pueden ser financiadas a través de recursos de las entidades públicas, en este proceso es importante que las alcaldías incluyan a la comunidad, quienes desde su participación activa deseen formar parte del proceso.

En este sentido una de las fuentes de financiación para esta estrategia puede ser las empresas mineras a las cuales la corporación autónoma les haya requerido compensación ambiental por las especies taladas. Así mismo, con la identificación y priorización de las zonas a reforestar, se puede seleccionar aquellas en las cuales se localice fuentes abastecedoras, ya que la conservación del recurso hídrico cuenta con los recursos de no menos del 1% establecidos por la Ley 99 de 1993, los cuales tienen destinación específica para acciones de conservación en áreas de importancia estratégica.

- **Localización:** Zonas cercanas al río Bajo Nechí correspondientes a áreas riparias, áreas de extracción de material y aquellas con procesos de deforestación, asicomo áreas con alto riesgo erosivo en zonas de ribera o montaña.
- **Efectividad:** Esta estrategia propone la identificación y diagnóstico de las zonas críticas y a partir de estas promover la restauración de los ecosistemas que han sido degradados. Adicional a esto, se plantean áreas clave a considerar como son las zonas riparias y zonas con suelo sin cobertura vegetal afectadas por la minería. También, incluye la participación activa de actores privados, públicos y comunitarios, ya que la efectividad en la estrategia depende de su implementación de forma continua, bajo un seguimiento en la supervivencia de las especies sembradas y el establecimiento de compromisos para todos los actores.

**Estrategia 2:** Intensificar el monitoreo y aforo del recurso hídrico en la cuenca del bajo Nechí, con el fin de optimizar la gestión del agua a través de la promoción de prácticas sostenibles que permitan reducir las afectaciones sobre el recurso hídrico, esta estrategia permite a su vez identificar patrones de variabilidad climática.

- **Responsable:** La autoridad ambiental es la llamada de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015 a implementar la red de monitoreo del agua con recursos de tasas retributivas.
- **Modo de implementación:** Desde las alcaldías municipales de El Bagre y Nechí pueden solicitar a CORANTIOQUIA implementar más puntos de monitoreo en la cuenca del río bajo Nechí y aumentar su periodicidad por lo menos a cuatro monitoreos anuales, distribuidos en las épocas de lluvia y sequía, esto con el fin de observar los cambios en la calidad y cantidad del agua en cada fuente priorizada de la cuenca.

Para esto es importante la comunicación entre las entidades y el conocimiento del plan de acción cuatrienal de la corporación autónoma, de modo que las reuniones que se lleven a cabo para acordar más puntos de monitoreo tengan como resultado una respuesta positiva para los municipios.

En el caso de las administraciones municipales que inician periodo de mandato, se recomienda participar de manera activa en las reuniones que convoca la corporación autónoma para escuchar a la comunidad previo a la definición de los planes de acción de la entidad, de modo que se puedan incluir este tipo de proyectos que requieren una asignación y destinación de recursos desde el inicio.

Por otra parte, la promoción de prácticas sostenibles como la rehabilitación de arreas mineras, la siembra de especies nativas, el uso eficiente del recurso hídrico, entre otras, debe incluir tanto a las empresas privadas como a las instituciones educativas y a la comunidad, de modo que desde las entidades del Estado se realicen jornadas de capacitación y sensibilización que permita a través del tiempo ir adoptando prácticas para la conservación de los ecosistemas.

- **Localización:** Puntos de monitoreo cercanos a las actividades mineras, tanto aguas arriba como aguas debajo de estas áreas, de modo que se pueda evaluar los niveles de contaminación que genera el desarrollo de la actividad. También se pueden localizar en los puntos de ingreso de los afluentes de segundo orden, de modo que permitan registrar datos relacionados con procesos erosivos y actividades agrícolas.
- **Efectividad:** Esta estrategia promueve la localización de puntos de monitoreo en zonas clave como aquellas cercanas a las actividades mineras, de modo que se

pueda establecer con mayor precisión la fuente de la contaminación y en que niveles se está generando, siendo esta la base para establecer medidas por parte la autoridad ambiental ante el deterioro del recurso hídrico.

Por otra parte, la efectividad en la promoción de prácticas sostenibles estará sujeta a la frecuencia en el desarrollo de escenarios de capacitación y participación comunitaria, la coordinación entre las instituciones y seguimiento a los resultados de estos procesos.

**Estrategia 3:** Promover la obtención y cumplimiento de los Permisos de Vertimientos por parte de las empresas mineras, así como la construcción de unidades sanitarias y tanques sépticos en área rural por parte de las alcaldías municipales.

Teniendo en cuenta el artículo 2.2.3.3.5.1. del decreto 1076 de 2015 toda persona, bien sea natural o jurídica, debe solicitar el permiso de vertimientos ante la autoridad ambiental siempre y cuando la actividad que desarrolla genere vertimientos a cuerpos de agua superficiales o al suelo, por lo tanto, se sugiere a las empresas privadas que no cuenten con permiso de vertimientos y que por la naturaleza de sus actividades deban tramitarlo hacer el proceso correspondiente ante CORANTIOQUIA.

Se plantea a las alcaldías del El Bagre y Nechí, incrementar el saneamiento rural con la ejecución de proyectos como la construcción de unidades sanitarias y pozos sépticos para las viviendas aisladas en zona rural.

- **Responsable:** Las alcaldías de Nechí y EL Bagre en cabezas de sus secretarías de planeación son los llamados a la formulación de estos proyectos. También, CORANTIOQUIA desde el seguimiento al cumplimiento de los permisos de vertimientos y las empresas privadas que por la naturaleza de sus actividades deban contar con permiso de vertimientos.
- **Modo de implementación:** A nivel de las empresas privadas, se solicitará a la corporación autónoma la realización de jornadas de sensibilización y educación para la obtención de los permisos de vertimientos.

A nivel de saneamiento rural y teniendo en cuenta que estos proyectos requieren grandes inversiones, las alcaldías deben plantearlos por etapas, iniciando con la realización del diagnóstico y la línea base del saneamiento hídrico, los cuales incluyen un inventario de las familias que no cuentan con pozos sépticos en el área

rural y cuyos recursos económicos les dificulte construir con recursos propios estos sistemas. Después sigue la presentación de los proyectos ante entidades del orden nacional y departamental, con el fin de cofinanciar estos proyectos de impacto local. Dentro de las entidades que podrían realizar estos aportes económicos se encuentran: la Gobernación de Antioquia, el Ministerio de Vivienda y la corporación autónoma o el sistema general de regalías. Una vez se cuenten con los recursos, sigue la etapa de construcción de las unidades sanitarias y sistemas de tratamiento.

- **Localización:** Área de los municipios de El Bagre y Nechí que forma parte de la cuenca del río bajo Nechí, ya que se debe garantizar el saneamiento básico en toda la jurisdicción, esto en cuanto saneamiento rural. Para los permisos de vertimientos la localización sería zonas con desarrollo de actividad minera.
- **Efectividad:** Esta estrategia está orientada a reducir el impacto ambiental por los vertimientos tanto a suelo como a cuerpos de agua, por medio de la implementación de instrumentos como el permiso de vertimientos y la construcción de unidades sanitarias y pozos sépticos, el éxito de esta estrategia depende de la línea base para identificar y legalizar todos los procesos industriales, además de un adecuado censo todas las familias de la zona rural que requieren saneamiento.

**Estrategia 4:** Fortalecer el control y seguimiento a la minería a gran escala, artesanal e ilegal, como medida para mitigar la degradación del suelo, disminuir los procesos de deforestación y minimizar la contaminación de las fuentes hídricas.

Esta estrategia incluye la formalización de la actividad de minería artesanal, la aplicación de medidas sancionatorias para la minería ilegal y el endurecimiento de las multas ambientales aplicadas, esto con el fin de reducir la presión sobre los ecosistemas, mantener la estructura de las zonas boscosas que sirve como sumideros de carbono y limitar las practicas extractivistas no reguladas.

- **Responsable:** La autoridad ambiental es la llamada de acuerdo con el decreto 1076 de 2015 a realizar el control y seguimiento sobre los recursos naturales.
- **Modo de implementación:** Desde las alcaldías se puede solicitar a la corporación autónoma y el ANLA que se intensifiquen las acciones de control en los municipios, de modo que las minas tanto legales como ilegales no afecten de manera drástica el

ecosistema, es decir, que las afectaciones generadas sean las mínimas y que se compense por los daños generados.

Desde la comunidad también se puede realizar un llamado a las autoridades ambientales para que sean ellos como administradores de los recursos naturales, quienes obliguen a la minería a gran escala dar cumplimiento estricto de los compromisos ambientales, entre estos las acciones establecidas en los Planes de Manejo Ambiental. Además, pueden ejercer procesos de veeduría ciudadana a las licencias ambientales de estas empresas.

- **Localización:** Área de los municipios de El Bagre y Nechí que forma parte de la cuenca del río bajo Nechí, principalmente en cercanía al río Nechí.
- **Efectividad:** Esta estrategia tiene su efectividad en el seguimiento constante a las empresas mineras, lo cual se relaciona a su vez con el acceso a las áreas, los recursos de la autoridad ambiental para llevar a cabo los seguimientos y la cooperación de las empresas en el proceso.

**Estrategia 5:** Revisar y actualizar los instrumentos de ordenamiento territorial bajo un enfoque ecológico, incluyendo la mitigación de la variabilidad climática, toda vez que el PBOT del municipio de El Bagre y el EOT del municipio de Nechí se formularon en el año 2000, es decir, han pasado 25 años desde su adopción, superando la vigencia legal de 3 periodos constitucionales (12 años) establecidos por la Ley 388 de 1997.

Por tanto, se sugiere a los municipios que, en el proceso de actualización de estos instrumentos se tengan en cuenta los criterios de sostenibilidad ambiental, priorizando aquellas áreas de importancia estratégica claves para la conservación ambiental, de modo que la planificación del territorio sea sostenible, se limite la expansión urbana descontrolada y contribuya con el cuidado de las áreas que actúan como sumideros de carbono.

- **Responsable:** Las alcaldías de Nechí y EL Bagre en cabeza de sus secretarías de planeación son los llamados a llevar a cabo la revisión y actualización de sus instrumentos de ordenamiento territorial, en el marco de lo establecido por la Ley 388 de 1997.
- **Modo de implementación:** Para la implementación de esta estrategia cada alcaldía puede optar por gestionar los recursos para contratar una consultoría con un ente multidisciplinario que realice la revisión y actualización del POT, para esto y en

aporte a la dimensión ambiental, el presente trabajo de grado aborda datos relevantes que pueden ser considerados en la fase de diagnóstico del POT, ya que contempla temáticas como el POMCA, el cual es una determinante de mayor jerarquía, la precipitación, el caudal, la calidad del agua y las dinámicas socioambientales.

- **Localización:** Municipios de El Bagre y Nechí.
- **Efectividad:** Esta estrategia permite incluir un enfoque ecológico en los POT, permitiendo que desde el ordenamiento del territorio se cuente con la identificación de zonas críticas que necesitan de medidas de mitigación, así mismo al ser considerado como un factor relevante, propicia el espacio para la inclusión de proyectos orientados hacia la mitigación de los efectos de la variabilidad climática.

**Estrategia 6:** Promover la gestión del conocimiento y la educación ambiental enfocada en los eventos relacionados con la variabilidad climática, a través de la sensibilización y capacitación de las comunidades, instituciones y demás actores clave en el territorio. Esta estrategia busca fomentar conductas sostenibles, así como la difusión de información que apoye la toma de decisiones y contribuya con la mejora de la resiliencia frente a los efectos de la variabilidad climática.

- **Responsable:** La corporación autónoma a través de la implementación del POMCA, puede llevar a cabo esta estrategia.
- **Modo de implementación:** Para la implementación de esta estrategia es necesario que las alcaldías de Nechí y El Bagre soliciten a la corporación autónoma apoyo técnico, en dado caso de que en la administración no cuente con los profesionales para llevar a cabo las jornadas de educación ambiental sobre variabilidad climática, dado que dentro del documento de formulación del POMCA la corporación contempla el fortalecimiento del conocimiento asociado a eventos socio naturales, esto en el marco de la variabilidad climática.
- **Localización:** Instituciones educativas y espacios en las alcaldías municipales donde se pueda convocar a la comunidad para que asistan a jornadas de capacitación.
- **Efectividad:** Esta estrategia permite sensibilizar a la comunidad y promover acciones sostenibles a través de la capacitación, permite socializar las herramientas

para mitigar los impactos de la variabilidad climática, a partir de la información relevante sobre la ocurrencia de fenómenos como inundaciones. Este tipo de espacio son de diálogo mutuo, donde la comunidad puede expresar hechos históricos de acuerdo con las vivencias en el territorio.

**Estrategia 7:** Implementar sistemas para la recolección y almacenamiento del agua lluvia, por medio de tanques domiciliarios, con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico y mejorar la gestión del agua.

- **Responsable:** La corporación autónoma en coordinación con las alcaldías municipales.
- **Modo de implementación:** Para la implementación se debe identificar por parte de las alcaldías municipales las personas que cuenta con bajo acceso al agua potable y desarrollar mesas de trabajo con las juntas de acción comunal para identificar a los beneficiarios de esta estrategia.

Paralelo a esto se debe gestionar recursos con otras entidades como la gobernación Antioquia y CORANTIOQUIA para la compra de los tanques de almacenamiento. también, se debe capacitar a la comunidad sobre el uso, mantenimiento y buenas prácticas en el ahorro del agua.

Por último, es importante hacer seguimiento y acompañamiento a la comunidad, ya que de este depende el éxito en la implementación de la medida.

- **Localización:** Área de los municipios de El Bagre y Nechí que forma parte de la cuenca del río bajo Nechí.
- **Efectividad:** Esta estrategia permite hacer uso del recurso agua a través de prácticas como la recolección de agua lluvia, la cual le suministra a la comunidad una reserva de agua dulce que pueden tener consigo para suplir el consumo de diferentes actividades cotidianas. Ese tipo de actividades son fáciles de implementar y el costo asociado se relaciona con la compra de los tanques de almacenamiento, siendo una opción alterna al abastecimiento convencional proveniente de la captación directa en los cuerpos de agua.

**Estrategia 8:** Promover la planificación y la creación de corredores ecológicos, áreas para la recarga hídrica, jardines de lluvia y demás zonas que permitan contar con cobertura vegetal, de modo que no se comprometa la captura de carbono y el desarrollo en la cuenca sea con enfoque sostenible.

- **Responsable:** Las alcaldías municipales a través de la secretaría de planeación son quienes están a cargo del ordenamiento territorial de los municipios.
- **Modo de implementación:** Para la implementación de esta estrategia se deben identificar las zonas críticas donde se estén presentando procesos de deforestación masiva, incluyendo un diagnóstico sobre los ecosistemas estratégicos que se encuentran en estado deteriorado, entre estos ciénagas, rondas hídricas y cerros. Una vez obtenida esta identificación es importante incluirla en los instrumentos territoriales, tales como el POT y el Plan de Desarrollo Municipal, acciones para promover la creación de los corredores ecológicos, incluyendo elementos claves en los dos municipios, a fin de garantizar su conectividad ecológica y disminuir la probabilidad en ocurrencia de acciones que conlleven a la fragmentación de los ecosistemas.

De forma complementaria esta estrategia puede articularse con la estrategia No. 1 y 6 del presente documento, con el fin de que se incluya la participación de la comunidad, las empresas mineras y demás actores claves.

- **Localización:** Área de los municipios de El Bagre y Nechí que forma parte de la cuenca del río bajo Nechí.
- **Efectividad:** Esta estrategia no solo favorece la conservación de la biodiversidad, sino que permite la conectividad entre ecosistemas, mejorando procesos como la retención del agua y la continuidad en la cobertura vegetal. Sin embargo, su efectividad requiere de gran control por parte de las alcaldías municipales sobre actividades que conlleven a la deforestación, si no existe presencia constante de la administración municipal, el desarrollo de actividades como la minería ilegal, entre otras actividades puede implicar la presencia de nuevas áreas de deforestación.

## 7 Conclusiones

Se concluye que el río Nechí a pesar de estar afectado por una de las minas auríferas más grandes del país, no cuenta con suficientes estudios por parte de la autoridad ambiental respecto a los impactos generados por esta actividad sobre el recurso hídrico.

Los municipios de Nechí y El Bagre no cuentan a la fecha con Planes de Ordenamiento Territorial actualizados, lo que aporta a un desarrollo y planificación que no está acorde a las dinámicas actuales, generando de esta forma falencias en el control del territorio, lo cual puede conllevar a la degradación de los recursos naturales debido al uso inadecuado del suelo.

Partiendo de la premisa de que el desconocimiento del territorio puede conllevar al desconocimiento de la riqueza natural se hace necesaria la ampliación de la red de monitoreo, no solo sobre el recurso hídrico sino también sobre los demás recursos naturales, con fines de conservación y aprovechamiento sostenible de los mismos.

Aunque es conocida la problemática ambiental que ocasiona la minería en el río Nechí, a tal punto que los entes en el territorio reconocen que se ha afectado el desarrollo de actividades como la pesca por la presencia de sustancias tóxicas como el mercurio en el agua, ya que se priorizan los beneficios económicos generados a partir de la minería, esto conlleva a que los pobladores sigan desarrollando la actividad a pesar de las afectaciones ambientales.

Adicional a lo anterior, Rentería et al. (2022) indican que para el desarrollo de estrategias de sostenibilidad y mitigación exitosas se deben alinear los ciclos de gestión con los ciclos climáticos locales y los impulsores climáticos globales. Por esto los proyectos en el territorio deben ir orientados hacia la mejora de la infraestructura existente o la construcción de nueva infraestructura que permita mitigar los efectos adversos de la variabilidad climática.

## REFERENCIAS

- Alcaldía de El Bagre. (2001). *PBOT municipio de El Bagre*. <https://www.elbagre-antioquia.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionyControl/PBOT%202009.pdf>
- Alcaldía de Nechí. (2001). *EOT DEL MUNICIPIO DE NECHI - Alcaldía de Nechí Antioquia*.  
[https://nechiantioquia.micolombiadigital.gov.co/sites/nechiantioquia/content/files/000815/40740\\_eot.pdf](https://nechiantioquia.micolombiadigital.gov.co/sites/nechiantioquia/content/files/000815/40740_eot.pdf)
- ANLA. (2019). *Reporte de alertas cuencas hidrográficas Porce, Nechi, Nare y Bajo Cauca (CH-PNNBC)*. <https://www.anla.gov.co/documentos/biblioteca/27-01-2021-anla-porce-nechi,nare-y-bajo-cauca.pdf>
- Bacon, C. M., Sundstrom, W. A., Stewart, I. T., Maurer, E., & Kelley, L. C. (2021). Towards smallholder food and water security: Climate variability in the context of multiple livelihood hazards in Nicaragua. *World Development*, 143, 105468. <https://doi.org/10.1016/J.WORLDDEV.2021.105468>
- Barrenechea, A. (n.d.). *Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua*. [https://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1\\_tomo1\\_cap1.pdf](https://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_cap1.pdf)
- Bhusal, S., Shrestha, S., & Aryal, T. (2025). Climate change impacts on flood hazards and surface-subsurface water interactions in the Lancang Mekong River Basin. *Journal of Hydrology*, 658, 133082. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2025.133082>
- Bilbao, N., Jimeno, P., Segura, F. J., Castellanos, G., López, A., Faria, S. H., & Senent, J. (2024). Declining water resources in the Anduña River Basin of Western Pyrenees: Land abandonment or climate variability? *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, 101771. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2024.101771>
- Cheng, C., Yang, Y. C. E., Ryan, R., Yu, Q., & Brabec, E. (2017). Assessing climate change-induced flooding mitigation for adaptation in Boston's Charles River watershed, USA. *Landscape and Urban Planning*, 167, 25–36. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2017.05.019>
- Comfama. (2021). *Viaje por el Rio Nechí en el Bajo Cauca antioqueño*. <https://www.comfama.com/cultura-y-ocio/travesia-por-rio-nechi/>

- Comfenalco. (2023). *Dinámica laboral bajo Cauca Antioqueño 2023*.  
[https://www.antioquiacomovamos.org/system/files/2024-02/docuprivados/20231121\\_BAJO%20CAUCA.pdf](https://www.antioquiacomovamos.org/system/files/2024-02/docuprivados/20231121_BAJO%20CAUCA.pdf)
- Comisión de la verdad. (2020). *La guerra nunca se ha ido del bajo Cauca*.  
<https://web.comisiondelaverdad.co/especiales/bajo-cauca/actualidad-region.html>
- Comisión de la verdad. (2021). *Bajo Cauca antioqueño: La crisis humanitaria que no da espera*. <https://web.comisiondelaverdad.co/especiales/bajo-cauca/index.html>
- Congreso de Colombia. (1994). *Ley 136 de 1994*.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=329>
- Congreso de Colombia. (2018). *Ley 1931 de 2018*.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87765>
- Contaduría General de la Nación. (2024). *Históricos hasta Vigencia 2024*.  
<https://www.contaduria.gov.co/documents/20127/36288/HISTORICOS.xlsx/f51281b5-e6e7-a569-b429-798b00aa613c>
- CORANTIOQUIA. (2022). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bajo Nechí -POMCA- (Código SZH-NSS 2703-03)*.  
[https://cia.corantioquia.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17260&query\\_desc=kw%2Cwrdl%3A%20pomca%20bajo%20NECHI](https://cia.corantioquia.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17260&query_desc=kw%2Cwrdl%3A%20pomca%20bajo%20NECHI)
- CORANTIOQUIA. (2023). *Informes técnicos de cumplimiento de objetivos de calidad del recurso hídrico periodo 2019 al 2023*.
- CORANTIOQUIA. (2024). *Geoportal PIRAGUA*.  
<https://piragua.corantioquia.gov.co/geoportal/red-automatica>
- CORANTIOQUIA, & aitec. (2023). *Actualización de la Evaluación Regional del Agua en la jurisdicción de Corantioquia*.
- CORANTIOQUIA, Gobernación de Antioquia, & Tdea. (2018). *Plan regional para el cambio climático en la jurisdicción de Corantioquia*.  
<https://www.tdea.edu.co/index.php/catalogo-de-publicaciones/109-tdea/sello-editorial/documentos-sello-editorial/1351-plan-regional-para-el-cambio-climatico-en-la-jurisdiccion-de-corantioquia-ebook>

- CORANTIOQUIA, & IGAC. (2013). *Documento técnico amenaza por inundación fase I cuenca baja de los ríos Cauca y Nechí*.  
[https://cia.corantioquia.gov.co/ciadoc/GESTION\\_DEL\\_RIESGO/AIRNR\\_CONTRATO\\_9199\\_2012\\_AMENAZAS\\_INUNDACION.pdf](https://cia.corantioquia.gov.co/ciadoc/GESTION_DEL_RIESGO/AIRNR_CONTRATO_9199_2012_AMENAZAS_INUNDACION.pdf)
- Correa, R. (2017). Desarrollo socio-económico regional: Impactos de la minería artesanal en el Bajo Cauca antioqueño. *Revista Internacional de Cooperación y Desarrollo*, 4(1), 46–61. <https://doi.org/10.21500/23825014.3116>
- Cortés, M., & Iglesias, M. (2004). *Generalidades sobre Metodología de la Investigación* (1st ed.).  
[https://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia\\_investigacion.pdf](https://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf)
- Cueva, T., Jara, O., Arias, J., Flores, F., & Balmaceda, C. (2023). *Métodos mixtos de investigación* (Instituto Universitario de Innovación ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C, Ed.; 1st ed.). <https://doi.org/https://doi.org/10.35622/inudi.b.106>
- DANE. (2020). *Centros poblados y cabeceras municipales de Colombia*.  
<https://www.colombiaenmapas.gov.co/?e=-91.07859485351392,-7.914089216137852,-57.41648547852286,17.909127410706898,4686&b=igac&u=0&t=29&servicio=591>
- El Garouani, M., Radoine, H., Lahrach, A., Oulidi, H. J., & Chaabane, M. S. (2024). An integrated and multidimensional approach for analyzing vulnerability of water resources under territorial climate conditions. *Environmental and Sustainability Indicators*, 22, 100383. <https://doi.org/10.1016/J.INDIC.2024.100383>
- El Tiempo. (n.d.). *Los ríos secos que está dejando a su paso el fenómeno del Niño | Defencarga - Fomento y seguridad en distribución física*.  
<https://www.defencarga.org.co/contenido-sis/los-r%C3%ADos-secos-que-est%C3%A1-dejando-su-paso-el-fen%C3%B3meno-del-ni%C3%B1o>
- Escobar, Y. C. (2011). Efectos de la Variabilidad Climática (vc) y el Cambio Climático (cc) en los Recursos Hídricos de Colombia. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 5(9), 33–61. <https://doi.org/10.31908/19098367.689>
- Gaiolini, M., Acosta, R., Carol, E., & Colombani, N. (2025). Assessing the effects of ENSO-induced climate variability on shallow coastal groundwater reserves of north

- Patagonia, Argentina. *Groundwater for Sustainable Development*, 29, 101427.  
<https://doi.org/10.1016/J.GSD.2025.101427>
- Gallego, J. (2021). *El jarillón roto: la pesadilla de los pescadores del río Nechí* - Agencia de Prensa IPC. <https://www.ipc.org.co/agenciadeprensa/el-jarillon-roto-la-pesadilla-de-los-pescadores-del-rio-nechi/>
- García, M. C., Piñeros Botero, A., Bernal Quiroga, F. A., & Ardila Robles, E. (2012). Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia. *Revista de Ingeniería*, 36, 60–64.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-49932012000100012&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-49932012000100012&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- IDEAM. (n.d.-a). *CONCEPTOS BÁSICOS DE CAMBIO CLIMÁTICO* - IDEAM.  
<http://www.cambioclimatico.gov.co/otras-iniciativas>
- IDEAM. (n.d.-b). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*.  
<http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/?fbclid=IwAR3M36rkYnmrgVak>
- IDEAM. (2013). *Zonificación y Codificación de Cuencas Hidrográficas*.  
[https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/zonificacion\\_y\\_codificacion\\_de\\_unidades\\_hidrograficas\\_e\\_hidrogeologicas\\_de\\_colombia.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-08-23/zonificacion_y_codificacion_de_unidades_hidrograficas_e_hidrogeologicas_de_colombia.pdf)
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua 2014*.  
[https://www.andi.com.co/Uploads/ENA\\_2014.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2014.pdf)
- IDEAM. (2022). *El Niño - Oscilación del sur*. <https://www.ideam.gov.co/file-download/download/public/6454>
- IDEAM. (2024). *Alertas hidrológicas boletín 194*.  
[https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-07-12/07\\_bah\\_194\\_julio\\_12\\_dia.pdf](https://www.ideam.gov.co/sites/default/files/prensa/boletines/2024-07-12/07_bah_194_julio_12_dia.pdf)
- IDEAM. (2025). *Índice de Calidad del Agua en corrientes superficiales (ICA) (Hoja metodológica versión 1.3)*.  
[https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/agua/hm/HM\\_ICA.pdf](https://bart.ideam.gov.co/indiecosistemas/ind/agua/hm/HM_ICA.pdf)

- Isaza, M. (2017). *Declaran calamidad pública en Nechí por inundaciones*. <https://www.elcolombiano.com/antioquia/calamidad-publica-en-nechi-por-invierno-ND6555078>
- Jordar, A., Ruiz, M., & Melgarejo, J. (2018). Evaluation of the impact of climate change on a hydrological basin in natural regime (SE, Spain) using a SWAT model. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 35(3), 240–253. <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2018.3.564>
- Kundzewicz, Z. W., Szwed, M., & Pińskwar, I. (2019). Climate Variability and Floods—A Global Review. *Water* 2019, Vol. 11, Page 1399, 11(7), 1399. <https://doi.org/10.3390/W11071399>
- Liu, B.-W., Wang, M.-H., Chen, T.-L., Tseng, P.-C., Sun, Y., Chiang, A., & Chiang, P.-C. (2020). Establishment and implementation of green infrastructure practice for healthy watershed management: Challenges and perspectives. *Water-Energy Nexus*, 3, 186–197. <https://doi.org/10.1016/J.WEN.2020.05.003>
- López, C. (2021). *Inundaciones en Nechí dejan a más de 100 familias afectadas*. <https://www.elcolombiano.com/antioquia/inundaciones-en-nechi-por-desbordamiento-de-rios-cauca-y-nechi-FC15427741>
- López, J. (2022). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO SOCIO-AMBIENTAL POR LA EXPLOTACION DE ORO ALUVION EN EL MUNICIPIO DE NECHI-ANTIOQUIA*. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/43616/LopezCamachoJenniferCatherine2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lyu, L., Wang, X., Sun, C., Ren, T., & Zheng, D. (2019). Quantifying the Effect of Land Use Change and Climate Variability on Green Water Resources in the Xihe River Basin, Northeast China. *Sustainability* 2019, Vol. 11, Page 338, 11(2), 338. <https://doi.org/10.3390/SU11020338>
- Mairura, F. S., Musafiri, C. M., Kiboi, M. N., Macharia, J. M., Ng’etich, O. K., Shisanya, C. A., Okeyo, J. M., Mugendi, D. N., Okwuosa, E. A., & Ngetich, F. K. (2021). Determinants of farmers’ perceptions of climate variability, mitigation, and adaptation strategies in the central highlands of Kenya. *Weather and Climate Extremes*, 34, 100374. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2021.100374>

- Mejía, O. (2008). *El recurso hídrico en la jurisdicción de CORANTIOQUIA 1995-2007*.  
<https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/34391>
- Mello, C. R., Guzman, J. A., Vieira, N. P. A., Viola, M. R., Beskow, S., Guo, L., Alvarenga, L. A., & Rodrigues, A. F. (2025). Mitigating severe hydrological droughts in the Brazilian tropical high-land region: A novel land use strategy under climate change. *International Soil and Water Conservation Research*.  
<https://doi.org/10.1016/J.ISWCR.2025.03.005>
- MinAmbiente. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/Anexo-24.-Guia-Tecnica-Formulacion-POMCAs.pdf>
- Naranjo, K., Aristizábal, E. V., & Morales, J. A. (2019). Influencia del ENSO en la variabilidad espacial y temporal de la ocurrencia de movimientos en masa desencadenados por lluvias en la región Andina colombiana. *Ingeniería y Ciencia*, 15(29), 11–42. <https://doi.org/10.17230/INGCIENCIA.15.29.1>
- NOAA. (2025). *Índice ENSO multivariado versión 2 (MEI.v2)*.  
<https://psl.noaa.gov/enso/mei/>
- Observatorio de Derechos Humanos y Paz. (2018). *¿Ecocidio de Mineros S.A. en el río Nechí?* <https://prensarural.org/spip/spip.php?article23105>
- Peralta, G., Alarcón, S., Garzón, J., Neuta, D., & Rodríguez, N. (2021). *Desabastecimiento hídrico en el sistema de ciudades de Colombia: ordenamiento ambiental y territorial en el Área Hidrográfica Magdalena-Cauca*. 459–480.  
<https://doi.org/10.15446/rcdg.v30n2.88753>
- Pisor, A. C., Touma, D., Singh, D., & Jones, J. H. (2023). To understand climate change adaptation, we must characterize climate variability: Here's how. *One Earth*, 6(12), 1665–1676. <https://doi.org/10.1016/J.ONEEAR.2023.11.005>
- Presidente de la república. (1974). *Decreto 2811 de 1974*.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>
- Presidente de la república. (2010). *Decreto 3930 de 2010*.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620>

- Procuraduría General de la Nación. (2024). *Hasta 20 veces más de arsénico en aguas del río Nechí, Antioquia. Procuraduría intensifica acciones contra la minería ilegal.* <https://www.procuraduria.gov.co/Pages/hasta-20-veces-mas-arsenico-aguas-rio-nechi-procuraduria-intensifica-acciones-contra-mineria-ilegal.aspx>
- Redacción BLU Radio. (2022). *Inundado permanece el 50 % de El Bagre, Antioquia.* <https://www.bluradio.com/blu360/antioquia/inundado-permanece-el-50-de-el-bagre-antioquia-rg10>
- Rentería, M., Hanson, R. T., & Eastoe, C. (2022). Evaluation of climate variability on sustainability for transboundary water supply in Chihuahua, Mexico. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 44, 101207. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2022.101207>
- Restrepo, L., & Restrepo, K. (2024). Ecocidio del río Nechí: invocación del efecto inter comunis. *Pensamiento Americano*, 17(33), 1. <https://doi.org/10.21803/PENAMER.17.33.538>
- Rios, Juan, & Mosselman, E. (2018). *La minería aurífera sostenible: análisis preliminar del sistema fluvial del río Nechí, Colombia.* 1974–1982. [https://www.researchgate.net/publication/333396851\\_La\\_mineria\\_aurifera\\_sostenible\\_analisis\\_preliminar\\_del\\_sistema\\_fluvial\\_del\\_rio\\_Nechi\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/333396851_La_mineria_aurifera_sostenible_analisis_preliminar_del_sistema_fluvial_del_rio_Nechi_Colombia)
- Rodríguez, C. A., Valencia, C. F., Ramírez, C. G., & Valencia, C. D. (2025). Dynamic effect of climate change on flood damage cost in the Andean region of Colombia using an ARDL-ECM model and climate change projections. *Sustainable Cities and Society*, 125, 106309. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2025.106309>
- Ruiz, L., Delgado, J., Angarita, H., Salas, H., Sanchez, J., Cortés, M., & Rueda, O. (2016). *Efecto de medidas de adaptación basada en ecosistemas sobre métricas hidrológicas considerando cambio climático: río Nechí, Colombia.* 8, 21–33. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373321>
- Sánchez, L., & Reyes, O. (2015). *Medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático en América Latina y el Caribe.* <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/889969d0-e5a0-48cf-a01d-54432324a595/content>

- Santisteban, G. (2020). *El Bajo Cauca Antioqueño, una tierra dorada que vive en la pobreza*. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/17531.pdf>
- SEMAR. (n.d.). *Metodología de la investigación*. Retrieved May 21, 2025, from [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA\\_DE\\_INVESTIGACION.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/133491/METODOLOGIA_DE_INVESTIGACION.pdf)
- SENA. (2013). *APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS METODOLOGICAS EN INVESTIGACIÓN*. [https://www.academia.edu/35117971/APLICACION\\_DE\\_HERRAMIENTAS\\_METODOLOGICAS\\_EN\\_INVESTIGACION](https://www.academia.edu/35117971/APLICACION_DE_HERRAMIENTAS_METODOLOGICAS_EN_INVESTIGACION)
- Shannon, P. D., Swanston, C. W., Janowiak, M. K., Handler, S. D., Schmitt, K. M., Brandt, L. A., Butler-Leopold, P. R., & Ontl, T. (2019). Adaptation strategies and approaches for forested watersheds. *Climate Services*, 13, 51–64. <https://doi.org/10.1016/J.CLISER.2019.01.005>
- TeleMEDELLIN. (2025). *Alcalde de El Bagre pide dragado del río Nechí por altos niveles e inundaciones*. <https://telemedellin.tv/alcalde-el-bagre-dragado-rio-nechi-niveles/764379/>
- Tobón, M. (2023). *El abandono del Bajo Cauca*. <https://www.larepublica.co/analisis/mauricio-tobon-3044910/el-abandono-del-bajo-cauca-3568467>
- UNDRR. (2017). *Terminología del Marco de Sendai sobre la reducción del riesgo de desastres*. <https://www.undrr.org/terminology/mitigation>
- UNGRD. (n.d.). *Atlas de Riesgo de Colombia: revelando los desastres latentes*. <https://ungrd.maps.arcgis.com/apps/dashboards/dcd959995f3a480aa2b9bf50bc56e78d>
- Universidad del Azuay. (n.d.). *Líneas de investigación*. Retrieved June 1, 2025, from <https://investigaciones.uazuay.edu.ec/lineas-investigacion>
- Wang, D., Qin, W., Xu, H., Shan, Z., & Yu, X. X. (2023). Assessing the response of water use efficiency to climate variability and land-use changes in the mountainous area of North China. *Forest Ecology and Management*, 530, 120780. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2023.120780>

Wang, T., Yue, W., Wu, T., Xiong, J., Xia, H., & Huang, B. (2025). The Carbon Sink Conservation Areas (CSCAs) as a land use strategy for climate change mitigation. *Sustainable Horizons*, 15, 100141. <https://doi.org/10.1016/J.HORIZ.2025.100141>