

**REPÚBLICA DOMINICANA**  
**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL**  
**UNIVERSIDAD ESTATAL**



**Facultad de Postgrado y Educación Continuada**  
**Escuela de Postgrado**

**Trabajo de Grado Para Optar Por el Título de Maestría en Química**

**TÍTULO:**

**CONTAMINANTES INORGANICOS EN EL RIO MAGUACA, PROVINCIA  
SANCHEZ RAMIREZ, 2023-2024.**

**Sustentante:**

Julianny María Herrera Morales

Lisbeth Yadira Jiménez Reynoso

**Asesora:**

Rosa Aura Recio Cruz

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez Año  
Académico 2024.

**TÍTULO:**

CONTAMINANTES INORGÁNICOS EN EL RIO MAGUACA, PROVINCIA  
SÁNCHEZ RAMÍREZ, 2023-2024

## Hoja de Evaluación.

Título: Contaminantes Inorgánicos en el Rio Maguaca, Provincia Sánchez Ramírez, 2023-2024.

Sustentado Por:

Julianny María Herrera Morales

Lisbeth Yadira Jiménez Reynoso

Trabajo de postgrado sometido a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO).  
Como requisito parcial para obtener el título de Maestría en Química.

---

Rosa Aura Recio Cruz (M.A)

Asesora

Miembro de Comité Evaluador.

---

Calificación\_\_\_\_\_

Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez  
República Dominicana, año 2024.

### **Declaración de Autoría.**

Los conceptos emitidos en el presente trabajo de postgrado son responsabilidad de los sustentantes de este. Las citas, consultas bibliográficas se han realizado respetando el derecho de autor; por tanto, se libera a la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO) de su responsabilidad, sin embargo, para la reproducción total o parcial se requiere de su autorización.

Sustentado Por:

Julianny María Herrera Morales

Lisbeth Yadira Jiménez Reynoso

# Índice

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Agradecimientos.....</b>                                | <b>i</b>  |
| <b>Dedicatoria: .....</b>                                  | <b>ii</b> |
| <b>Resumen .....</b>                                       | <b>v</b>  |
| <b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>                      | <b>1</b>  |
| 1.1 Antecedentes .....                                     | 1         |
| 1.2 Planteamiento del Problema.....                        | 7         |
| 1.3 Justificación .....                                    | 9         |
| 1.4 Objetivos .....                                        | 11        |
| 1.4.1 Objetivo general.....                                | 11        |
| 1.4.2 Objetivos específicos .....                          | 11        |
| 1.5 Sistematización de las variables e indicadores .....   | 11        |
| 1.6 Alcance y límites.....                                 | 12        |
| 1.7 Definición de términos.....                            | 13        |
| 1.8 Marco contextual.....                                  | 14        |
| <b>CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>           | <b>17</b> |
| 2.1 Introducción .....                                     | 17        |
| 2.2 Fuentes de contaminación inorgánica .....              | 17        |
| 2.2.1 Emisiones Atmosféricas.....                          | 17        |
| 2.2.2 Descargas de Aguas Residuales.....                   | 18        |
| 2.2.3 Vertidos Industriales. ....                          | 19        |
| 2.2.4 Residuos Sólidos. ....                               | 20        |
| 2.2.5 Agricultura y Uso de Fertilizantes. ....             | 21        |
| 2.2.6 Minería. ....                                        | 23        |
| 2.3 Metales pesados y otros contaminantes inorgánicos..... | 24        |
| 2.3.1 Análisis del agua. ....                              | 24        |
| 2.3.2 Muestreo del suelo. ....                             | 25        |
| 2.3.3 Biomonitorio. ....                                   | 26        |
| 2.3.4 Análisis de residuos. ....                           | 27        |
| 2.3.5 Monitoreo de la salud.....                           | 28        |
| 2.4 Medidas de mitigación .....                            | 29        |
| 2.4.1 Calidad del agua.....                                | 29        |
| 2.4.2 Biodiversidad acuática. ....                         | 30        |

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.3 Calidad del sedimento.....                                   | 31        |
| 2.4.4 Monitoreo de la vegetación riparia. ....                     | 32        |
| 2.4.5 Niveles de contaminantes.....                                | 33        |
| <b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>                              | <b>35</b> |
| 3.1 Introducción .....                                             | 35        |
| 3.2 Diseño de Investigación .....                                  | 35        |
| 3.3 Enfoque y tipo de investigación.....                           | 35        |
| 3.4 Población y muestra .....                                      | 36        |
| 3.5 Métodos y Técnicas .....                                       | 37        |
| 3.6 Instrumentos de investigación.....                             | 38        |
| 3.7 Validez y Confiabilidad .....                                  | 39        |
| 3.8 Procedimientos.....                                            | 39        |
| 3.9 Recolección de datos.....                                      | 39        |
| 3.10 Análisis de datos .....                                       | 39        |
| <b>CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b> | <b>40</b> |
| 4.1 Introducción .....                                             | 40        |
| 4.2 Presentación de los resultados.....                            | 40        |
| <b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>     | <b>44</b> |
| 5.1 Introducción .....                                             | 44        |
| 5.2 Análisis de los datos.....                                     | 44        |
| 5.3 Conclusiones .....                                             | 46        |
| 5.4 Recomendaciones.....                                           | 48        |
| <b>Referencias.....</b>                                            | <b>51</b> |
| <b>Anexos .....</b>                                                | <b>56</b> |

## **Agradecimientos**

### **A Dios:**

Por ser nuestro guía y compañero en este trayecto, por llenarnos de fuerzas para continuar y perseverar en este camino, sobre todo por mostrarnos su amor y bondad al permitirnos afrontar con fe cada obstáculo presentado a lo largo de este caminar.

### **A la Universidad Tecnológica del Cibao Oriental (UTECO):**

Por haber aceptado que fuéramos parte de ella, abrirnos las puertas en su alta casa de estudios, proporcionarnos los medios y conocimientos necesarios para la realización de nuestros sueños y por formarnos como profesionales de calidad.

### **A nuestros profesores:**

Por marcar cada etapa de nuestro camino universitario, brindándonos sus conocimientos de una manera desprendida y su apoyo para seguir firmes y constantes en esta meta propuesta.

**Los sustentantes**

**Dedicatoria:****A mi madre:**

Diosmayra Morales Bonifacio por ser mi mayor motivación en cada meta que me he planteado en la vida, gracias por siempre estar para mí apoyándome y aconsejándome sin que nada de esto fuera posible Te amo.

**A mis padres (abuelos):**

Fe Altagracia Bonifacio y José Antonio Morales, por siempre estar para mí en todo momento de mi vida, los amo.

**A mis hermanos:**

Julieris y Junior (Juriel), que siempre me acompañan.

**A mis tíos:**

Especialmente a la More (Lupita), Diosmery, Kennedy, entre otros, este logro también es de ustedes.

**A mis amigos y colegas:**

Madaly Adames, Lisbeth Jimenez, Ismery Acosta y Crisleiby Brito gracias a cada una de ustedes por ser más que compañeras cómplices en este trayecto de nuestras vidas gracias por las colaboraciones, risas y dificultades que logramos superar juntas las quiero.

**Julianny María Herrera Morales**

## **Dedicatoria**

### **A Dios:**

Gracias señor por darme la oportunidad de culminar este proyecto con bien, por permitirme seguir cumpliendo mis objetivos y mantenerme firme en cada uno de ellos, gracias señor, por tanto.

### **A mi madre:**

Beyralisis Reynoso, mi apoyo incondicional, la que siempre está orgullosa de cada paso que doy, sabes que eres por siempre mi modelo a seguir, gracias mami por siempre estar para motivarme y apoyarme, gracias a Dios por permitirme verte disfrutar de cada logro, te amo vida mía.

### **A mi papá:**

Darwin Matos, gracias papi por siempre estar pendiente de mí, por tu gran apoyo, motivación y consejos, siempre te haré sentir orgulloso de mí, sé que es tu mayor bendición, tú que nunca me has dejado sola y siempre quieres lo mejor para mí, te amo amor mío.

### **A mi segunda madre:**

Diorkiris Rosario, un ser muy especial para mí, tú siempre estás tan pendiente y orgullosa de todo lo que Dios pone en mi camino, gracias por siempre confiar en mí y por tanto apoyarme para dar lo mejor, te amo mami.

### **A mis hermanos:**

Alexis Jiménez, Derwin Matos, Darlisis Matos y Héctor Alfonso Jiménez, gracias por acompañarme en este proceso dándome motivación y estando orgullosos de mí, espero ser inspiración para ustedes por siempre, su hermana mayor los ama mucho.

### **Mis tíos:**

María Matías Reynoso y Braulio Matías Reynoso, su motivación para seguir adelante a valido la pena, gracias por siempre estar presente en mi vida y de una manera muy especial, los amo mucho.

**A mis amigos:**

Eloanny Marte, Roanna Morillo y Julio César Hernández, los están ahí sin importar la hora, los que siempre han querido lo mejor para mí y sentir ese orgullo, ustedes son los mejores para toda la vida, gracias mis amores por todo el apoyo incondicional que me dan, las bendiciones que siempre me mandan y darme ese empujón cuando estoy por tirar la toalla, este logro es de ustedes, los amo con el corazón.

**Mis compañeros:**

Julianny Herrera, Valeria Guzmán y Wandy Estevez, por tenerlas en mi vida este proyecto fue más emocionante, porque sin importar los momentos bajos, siempre estuvimos juntas y apoyándonos una a la otra, gracias por tanto en especial a mi compañera de tesis, JULIANNY HERRERA, mil gracias por ser tan paciente, estar en todo momento y dar lo mejor para que esto fuese posible, las quiero muchísimo.

**Lisbeth Yadira Jiménez Reynoso**

REPÚBLICA DOMINICANA  
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL CIBAO ORIENTAL  
(UTECO)



**Resumen**

**Tema:** Contaminantes Inorgánicos en el Río Maguaca, Provincia Sánchez Ramírez, 2023-2024.

**Autores:** Julianny María Herrera Morales y Lisbeth Yadira Jiménez Reynoso

**Asesora:** Rosa Aura Recio Cruz (M.A)

La presente investigación tuvo como objetivo general, Caracterizar los contaminantes inorgánicos que se encuentran en el río Maguaca en la provincia Sánchez Ramírez.

La investigación Contaminantes Inorgánicos en el Río Maguaca, Provincia Sánchez Ramírez, 2023-2024, tiene como objetivo general para la presente investigación caracterizar los contaminantes inorgánicos que se encuentran en el río Maguaca en la provincia Sánchez Ramírez, Cotuí, la investigación fue realizada partiendo de un diseño cuasiexperimental y para su realización se tomaron muestras del río en distintos lugares y estas se enviaron a un laboratorio para obtener los resultados que se muestran a continuación: El análisis de los datos revela que el hierro es el contaminante inorgánico más significativo en el río Maguaca, con niveles que superan ampliamente los límites normativos en todos los puntos de muestreo (1.19-2.05 mg/L frente al límite de 0.3 mg/L). En contraste, las concentraciones de cobre, aunque detectadas, se mantienen por debajo del límite normativo (0.16-0.17 mg/L frente al límite de 0.2 mg/L). Esto sugiere que, aunque el cobre podría estar presente debido a actividades industriales o agrícolas, no representa un riesgo significativo en los puntos evaluados del río. Para abordar la problemática identificada, es fundamental establecer un programa de monitoreo continuo que permita evaluar de manera regular los niveles de hierro, cobre y otros contaminantes inorgánicos en el río Maguaca. Esto no solo facilitará la detección temprana de cambios en las concentraciones, sino que también ayudará a identificar nuevas fuentes de contaminación a medida que surjan. Además, se requiere una investigación más detallada para identificar las fuentes exactas de la alta concentración de hierro. Esta investigación podría incluir estudios geológicos para entender la composición del suelo, así como una revisión exhaustiva de las actividades industriales y agrícolas en la región que puedan estar contribuyendo a la contaminación.

**Palabras clave:**

Contaminación inorgánica

Metales pesados

Río Maguaca

Calidad del agua

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

En el siguiente capítulo se recogen los antecedentes, el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos, las variables e indicadores, el alcance y límites, la definición de términos y el marco contextual.

### **1.1 Antecedentes**

La tesis titulada de Mejía (2018) *“Análisis espacio-temporal de la calidad del agua del río Magdalena (período 2009-2018) a partir de la comparación de índices de calidad del agua”*. Tiene como objetivo principal identificar la calidad del agua del Río Magdalena evaluando catorce parámetros de calidad del agua, para medir el impacto de las actividades antropogénicas que influyen en la concentración de estos parámetros. Una herramienta muy útil utilizada en esta tesis fue el ICA, que ayuda a permitir al público y a los tomadores de decisiones evaluar la calidad del agua de los ríos en Venezuela.

Este estudio compara el ICA nacional e internacional y el ICA autoproducido, a partir del análisis de espacio-tiempo, mediante el análisis de 12 estaciones de monitoreo (identificadas en la red nacional de monitoreo de recursos hídricos), para el período de 2009 a 2018. Su metodología de base cuantitativa es de enfoque desarrollado, que tomando en cuenta los datos proporcionados por las autoridades reguladoras ambientales y utilizando métodos aprobados descritos en la literatura y fue analizando la correlación de variables fisicoquímicas. En conclusión, el uso y comparación de diferentes métodos para el cálculo del ICA es una herramienta útil para la evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Magdalena, ya que puede ser utilizada como una estrategia para estimar la calidad del agua en otros sistemas superficiales. Esta investigación aporta en la metodología correlacional y el estudio fisicoquímico de calidad para diferentes puntos de monitoreo en las aguas del río Mantaro.

La tesis desarrollada por Santos, (2020) titulada *“Análisis espacio-temporal de la calidad del agua a partir de las comunidades de diatomeas presentes en la quebrada Las Delicias de los cerros orientales de Bogotá”*. Tiene como objetivo el análisis espacial y

temporal de la calidad del agua, comenzando con las comunidades de diatomeas en el arroyo Las Delicias de los cerros al oriente de Bogotá. En esta investigación se realizaron monitoreos fisicoquímicos y biológicos, detallando cantidad de especies biológicas en los periodos de lluvia y sequía. La metodología representada en la explicativa porque da razón a lo que ocurre un fenómeno y establecer relaciones de causalidad. Esta investigación aporta en el conocimiento de la operacionalización de variables así también como la comparación de los parámetros evaluados y el análisis espacio temporal de las variables.

El artículo de Mena (2021) titulado *“Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de Aguascalientes, México”*. Tiene por objetivo evaluar la variación espacio temporal de las concentraciones de materia orgánica, nutrientes, tóxicos orgánicos, coliformes y metales pesados en el río. El estudio se realizó en 43 estaciones de monitoreo y se analizaron 23 parámetros de los cuales se pone en conocimiento que en el Río San Pedro destaca especialmente la presencia de altos niveles de contaminación por materia orgánica, nitrógeno total, detergentes y coliformes fecales. Finalmente se encontró un ligero incremento en los sitios de muestreo cercanos a las descargas de plantas de tratamiento de aguas residuales. Por lo que se adoptó en esta investigación, los parámetros que influyen en la contaminación del río y los factores por los que se ve afectado.

La tesis de Posada, (2021), titulada *“Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Rímac (riego), de enero a agosto del 2021, en tres puntos de monitoreo”*. Tiene por finalidad analizar la calidad espacial y temporal del agua para riego a través de dos índices de calidad además de considerar los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua. Para el procesamiento de los datos obtenidos del año 2021; emplea los métodos estadísticos de Correlación de Pearson y Análisis de Componentes Principales obteniendo como resultado, que el índice de calidad señala que la mejor calidad de agua, se encuentra en dos estaciones de la parte alta del área de estudio y en la parte baja se determinaron condiciones entre buenas a medias; mientras que, con el índice de calidad las dos estaciones de la parte alta mostraron niveles de calidad entre aceptables y buenos; y en el punto más bajo, entre aceptable y excelente.

Esto indica que, en todo el año hidrológico en las tres estaciones, hay parámetros que presentan correlaciones altas y positivas, dado a que posiblemente provienen de dos fuentes comunes: la primera, de origen antropogénico (actividad minera y descargas municipales de las poblaciones cercanas) y la segunda, de origen natural (características del suelo). Sin embargo; otros parámetros presentan correlaciones más estrechas en los meses de estiaje, esto por las características que presenta el río, ya que el vertimiento de efluentes mineros y municipales suponen mayor impacto en la calidad de las aguas superficiales en la época de estiaje. Esta tesis nos muestra como la actividad minera y el vertimiento de aguas domésticas impactan negativamente en la calidad del agua del río; por ello, es de gran aporte en la discusión de la presente investigación.

El artículo de Veloz (2022) titulado *“Evaluación espacio-temporal de la calidad de las aguas en la Cuenca Hidrográfica Guaos-Gascón”*. Tiene por objetivo determinar el Índice de calidad de las aguas superficiales y estadísticamente comparar con estudios anteriores. El estudio se ubica al poniente de la ciudad de Santiago de Cuba, esta zona se utiliza como área para remover los productos residuales de las actividades humanas, afectar la composición natural y aumentar la carga de contaminación a la bahía de Santiaguera. Para llevar a cabo este estudio de febrero a abril de 2022, se analizaron 2 parámetros fisicoquímicos y 3 parámetros microbiológicos en ocho estaciones de monitoreo. Se encontró que no se cumplen las Normas Cubanas encontrando gérmenes patógenos; así también se compara estadísticamente con estudios anteriores, confirmando un aumento de contaminación en estas aguas. Esta investigación aporta la metodología de análisis de datos, el análisis correlacional con estudios anteriores y como antecedente de lo que podemos obtener en esta investigación.

La tesis de Martínez (2022) titulada *“Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río Monjas, sectores Pomasqui y San Antonio de Pichincha mediante ICANSF”*. Tiene como propósito evaluar la calidad del agua del río Monjas durante los meses de mayo a setiembre del 2019. Para ello, midieron ocho parámetros fisicoquímicos y un parámetro microbiológico de las estaciones de muestreo Pomasqui y San Antonio de Pichincha, posteriormente las muestras fueron evaluadas con la ayuda de la metodología

del Índice de Calidad del Agua propuesta por Brown y la Fundación Nacional de Sanitización de los Estados Unidos. Los resultados muestran que la calidad del río se encuentra en la clasificación de “mala calidad”, según la metodología estudiada, teniendo a la temperatura alta, disminución del oxígeno disuelto, concentraciones de DBO5, alto contenido de fosfatos y coliformes fecales como los parámetros que influyeron en mayor magnitud para definir esta clasificación. Por otro lado, los valores obtenidos en el estudio de los parámetros no revelaron variación espacial ni temporal de un muestreo al otro, de modo que se concluye que el aporte de contaminantes al río Monjas entre los sectores de Pomasqui y San Antonio de Pichincha, no son relevantes. Esta tesis contribuye en la discusión de resultados de la presente investigación ya que sus resultados muestran no tener variación espacial ni temporal.

La tesis de Guerrero (2022), titulada “*Análisis espacio-temporal del índice de la calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) en puntos de control del río San Gabán-Carabaya-Puno-2022*”. Tiene como propósito estudiar la variación espacio-temporal del índice de la calidad ambiental del río San Gabán en los puntos de control situados en los distritos de Macusani, Ollachea y San Gabán, provincia de Carabaya, región Puno considerando temporadas de desborde y estiaje. La metodología que emplea es de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), ya que agrupa 14 parámetros de tipo fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos a partir de datos de monitoreos de la calidad del agua realizados por la Administración Local del Agua (ALA) Tambopata – Inambari..

Como resultado de investigación, se indica que en Macusani la calidad promedio del agua en el punto RSgab1 es mejor que en el punto RSgab2, debido a la concentración de coliformes termotolerantes en el punto de salida; mientras que en Ollachea, el punto RSgab3 (aguas arriba) muestra una calidad de agua “buena” a diferencia con el punto RSgab4 (aguas abajo) de calidad “regular”, reducción que ocurre por la presencia de coliformes termotolerantes y concentración de plomo que sobrepasan los estándares de calidad de agua; de igual forma en San Gabán, el punto RSgab5 (aguas arriba) muestra una mejor calidad de agua a diferencia con el punto RInam1 (aguas abajo), en vista del aumento

de Pb. La correlación lineal de los ICARHS de Macusani y Ollachea resulta débil, entre Macusani y San Gabán de intensidad fuerte y entre Ollachea y San Gabán moderada. Esta tesis aporta en la metodología de la presente investigación, dado que considera la metodología de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) al agrupar los parámetros en fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos.

En la tesis de Manzueta (2022) titulada *“Evaluación espacio-temporal de metales pesados del recurso hídrico superficial de la microcuenca del Río Tinco, Provincia Yauyos, Departamento Lima”*. Tiene por propósito evaluar la variación espaciotemporal de metales pesados del recurso hídrico superficial en la microcuenca del río Tinco. Para ello, se delimitaron y georreferenciaron estaciones de muestreo y se obtuvieron muestras de agua en el periodo de estiaje y avenida. Los parámetros que se midieron fueron el pH, T°, CE, OD, turbiedad, caudal y metales pesados, sus valores fueron comparados con los estándares de calidad ambiental de acuerdo al D.S. N°004-2017-MINAM. Para el análisis de interpolación, se empleó el método Inverse Distance Weight (IDW) y para el análisis exploratorio correlacional, el método de correlación de Pearson con un nivel de significancia de 0.01 y un nivel de confianza de 0.1. Como resultado, los parámetros fisicoquímicos cumplieron con los ECA-agua (Categoría 3), a excepción del pH en época de estiaje, en cuanto a los metales pesados, éstos no sobrepasan los ECA-agua (Categoría 3).

Asimismo, al comparar las concentraciones de metales pesados con los parámetros fisicoquímicos a un nivel de significancia de 0.05, no se encuentran diferencias significativas en metales pesados a diferencia del pH, temperatura, oxígeno disuelto, turbiedad y caudal que si presentan diferencias significativas. Esta tesis permite evaluar las relaciones que existen entre los parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales pesados para emitir conclusiones en la presente investigación.

En el artículo de Almonte (2022) titulado *“Data on the concentration of heavy metals and metalloids in lotic water of the Mantaro river watershed and human risk assessment, Peru – 2022”*, tiene por objetivo presentar datos sobre la concentración de metales pesados y metaloides en el agua de siete ríos de la cuenca del río Mantaro en los Andes centrales del Perú, recolectados durante el otoño de 2022. Concentraciones de Cu,

Fe, Pb, Zn y As que fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica para evaluar el riesgo humano. Teniendo como resultados que la concentración de metales pesados y arsénico varió según el sector de los ríos evaluados, al mismo tiempo que la evaluación de riesgos para los seres humanos se realizó sobre la base de dosis de exposición a metales pesados y arsénico en el agua por ingestión y vías cutáneas, utilizando métodos estándar establecidos por USEPA.

Este estudio aporta en el conocimiento de los efectos en salud de las personas que trae la exposición de metales pesados del río Mantaro reflejados en los valores de dosis de exposición por ingestión y dosis de exposición dérmica por metales pesados y arsénico en niños y adultos; en los valores del cociente de riesgo por ingestión y cociente de peligrosidad para la vía dérmica de metales pesados y arsénico para niños y adultos; y el índice de riesgo por ingestión y contacto dérmico de metales pesados y arsénico en aguas lólicas con influencia minera en la Cuenca del Río Mantaro, Perú.

La tesis de Mateo (2022), titulada, *“Evaluación de la calidad del agua y vertimiento de efluentes industriales en la sub-cuenca del río San Juan, 2022, Cerro de Pasco”*, tiene como objetivo principal entender la variación de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en los últimos 11 años; la presente investigación fue hecha en base a monitorear la calidad del agua durante dicho periodo, para lo cual se usó información de la DIGESA. Se evaluó el comportamiento a lo largo del tramo monitoreado de la sub cuenca alta del Río San Juan, teniendo como resultado, que en las concentraciones de las muestras tomadas a lo largo del tramo a monitorear, hay un cierto grado de variación de la calidad del agua por la presencia de contaminantes de naturaleza orgánica e inorgánica como metales pesados, materia orgánica y Coliformes Termotolerantes. Esta investigación aporta como antecedentes que desde el 2022 tenemos presencia de contaminantes en la naciente del Río Mantaro, así también esta investigación informa que las concentraciones fueron disminuyendo a lo largo del tiempo.

La tesis de Ortega (2022) titulada, *“Cumplimiento de la normatividad ambiental por el sector minero metalúrgico y su impacto ambiental en el río Mantaro - Región Junín”*, posee como objetivo general el Fiscalizar el cumplimiento de la normatividad

ambiental por el sector minero metalúrgico y mitigar los impactos ambientales, la investigación evidencia que las actividades minero metalúrgicas influyen en la calidad del agua del río Mantaro, por ello es importante que los entes fiscalizadores conjuntamente con la empresa privada trabajen para cumplir con la normativa ambiental; el Estado no solamente debe dar leyes sino que debe asesorar y ser parte de la solución.. Esta investigación aporta como antecedente de la concentración de aguas industriales, además de que los vertimientos industriales, que recibe principalmente la cuenca o Zona Alta del río Mantaro, que está en Pasco, Junín y Yauli (La Oroya), son en su totalidad mineros y comprenden las aguas ácidas de mina, aguas tratadas en las plantas de estabilización.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Conforme aumentan las necesidades del ser humano, el medio ambiente que lo rodea se deteriora cada vez más. Desde tiempos remotos, mientras el hombre se adaptaba al medio ambiente para sobrevivir, fue modificándolo según las necesidades que presentaba, y sin darse cuenta creando agentes contaminantes que han ido degradando diferentes entornos naturales; por tanto, con el paso de los años, el crecimiento poblacional y el incontrolable desarrollo industrial, dieron lugar a la contaminación ambiental al introducir en el medio ambiente concentraciones elevadas de sustancias físicas, químicas o biológicas peligrosas.

La contaminación ambiental es un problema que se manifiesta desde antes de la Revolución Industrial y hasta ahora no se ha podido controlar, ya que involucra a todos los países. Según el cuerpo receptor, la contaminación ambiental se puede presentar en tres tipos: La contaminación atmosférica o del aire, la contaminación hídrica o del agua y la contaminación del suelo. Por separado o interactuando entre ellos, estos suponen un grave riesgo para la salud de los seres vivos y para la conservación de la biodiversidad y ecosistemas; por ello, uno de los recursos vitales que se debe de preservar ante tal amenaza de contaminación, es el agua.

El agua es una sustancia natural que hace posible la vida en la Tierra, ya que forma parte indispensable del desarrollo de los procesos biológicos, por lo que resulta ser un

recurso básico e imprescindible. Desde el firmamento, la apariencia que se percibe de la Tierra es un planeta de color azul; ya que el 70% de su superficie está cubierta por agua y el 30% de tierra. Sin embargo, la disponibilidad de agua promedio que se tiene es de aproximadamente 1.386 millones de km<sup>3</sup>, de los cuales el 97,5% es agua salada y el 2,5% es agua dulce. De esa cantidad, sólo una mínima parte es accesible para el consumo humano.

El Río Maguaca es un importante recurso hídrico en la Provincia Sánchez Ramírez, República Dominicana. Este río no solo es vital para el ecosistema local, sino que también es fundamental para las actividades agrícolas, pesqueras y recreativas de las comunidades aledañas. Sin embargo, podría ser que exista un incremento significativo en la presencia de contaminantes inorgánicos en sus aguas, lo cual representa una amenaza para la salud pública y la biodiversidad de la región.

La contaminación por sustancias inorgánicas en cuerpos de agua puede tener diversas fuentes, tales como actividades industriales, agrícolas y urbanas. En el caso del Río Maguaca, se ha identificado que la contaminación proviene principalmente de, plantas de procesamiento y minería en la región descargan efluentes con altos niveles de metales pesados como mercurio, plomo y cadmio. El uso excesivo de fertilizantes y pesticidas en las áreas agrícolas circundantes contribuye a la concentración de nitratos y fosfatos en el río. Las comunidades cercanas al río carecen de sistemas adecuados de tratamiento de aguas residuales, resultando en la liberación directa de contaminantes inorgánicos.

Se considera que si hay presencia de contaminantes inorgánicos en el Río Maguaca tiene diversas consecuencias negativas, dentro de las cuales se pueden señalar, el consumo de agua contaminada puede causar enfermedades graves en la población, como problemas renales, hepáticos y neurológicos. La biodiversidad acuática se ve amenazada, afectando la flora y fauna del río, lo que puede llevar a la pérdida de especies y desequilibrio ecológico. La pesca y la agricultura, actividades económicas clave de la región, se ven afectadas negativamente, impactando la subsistencia de las comunidades locales.

**Pregunta generadora:**

¿Cuáles características presentan los compuestos inorgánicos que se encuentran en el río de Maguaca en la provincia Sánchez Ramírez, Cotuí?

**Preguntas específicas:**

¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación inorgánica en el río?

¿Cuáles son los niveles de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos presentes en diferentes puntos del río?

¿Cuáles son medidas de mitigación y estrategias de manejo sostenible para reducir la contaminación inorgánica?

**1.3 Justificación**

El Río Maguaca representa un ecosistema acuático de gran relevancia en la Provincia Sánchez Ramírez. Su biodiversidad incluye diversas especies de flora y fauna, muchas de las cuales son endémicas y desempeñan roles cruciales en el equilibrio ecológico de la región. La contaminación inorgánica, caracterizada por la presencia de metales pesados y otros compuestos químicos, pone en riesgo esta biodiversidad. Estos contaminantes pueden acumularse en los organismos acuáticos, causando toxicidad y perturbando las cadenas alimentarias, lo que podría resultar en la pérdida de especies y la degradación del hábitat.

Las comunidades que habitan cerca del Río Maguaca dependen de sus aguas para diversas actividades cotidianas, incluyendo el consumo directo, la agricultura, la pesca y el recreo. La presencia de contaminantes inorgánicos en el agua potable representa un riesgo significativo para la salud humana. Metales pesados como el plomo, el mercurio y el cadmio son conocidos por sus efectos adversos en la salud, incluyendo problemas neurológicos, renales y hepáticos, así como enfermedades crónicas que pueden afectar de manera severa la calidad de vida de los habitantes. Evaluar y mitigar esta contaminación es esencial para prevenir enfermedades y proteger el bienestar de las poblaciones locales.

El Río Maguaca es un recurso vital para las actividades económicas locales, especialmente la agricultura y la pesca. La contaminación del agua puede reducir la productividad agrícola debido a la toxicidad de los suelos y el riego con agua contaminada, lo que a su vez afecta la seguridad alimentaria y los ingresos de los agricultores. La pesca, otra fuente crucial de sustento económico y nutricional, también se ve comprometida por la reducción de las poblaciones de peces y la posible toxicidad de los productos pesqueros. La disminución de estas actividades puede llevar a la pérdida de empleos y a la migración de las comunidades, exacerbando problemas sociales y económicos en la región.

En República Dominicana, existen regulaciones específicas relacionadas con la calidad del agua y la gestión de residuos, tanto industriales como agrícolas. Sin embargo, la implementación y el cumplimiento de estas normas a menudo son deficientes, especialmente en áreas rurales. Este estudio proporcionará datos científicos y evidencia empírica que pueden ser utilizados por las autoridades locales y nacionales para fortalecer la implementación de políticas ambientales, mejorar la gestión de los recursos hídricos y garantizar el cumplimiento de las normativas vigentes.

El estudio sobre los contaminantes inorgánicos en el Río Maguaca contribuirá significativamente al conocimiento científico sobre la calidad del agua en cuerpos hídricos de la región. Los resultados proporcionarán información valiosa sobre los niveles actuales de contaminación, las fuentes específicas de estos contaminantes y su distribución espacial y temporal. Además, la investigación permitirá desarrollar metodologías de monitoreo y evaluación que pueden ser aplicadas en otros ríos y cuencas hidrográficas en contextos similares, promoviendo una gestión sostenible y basada en la ciencia de los recursos hídricos.

La realización de este estudio también tiene un componente educativo importante. A través de la divulgación de los resultados y la implementación de programas de sensibilización, se buscará educar a las comunidades locales sobre los riesgos asociados con la contaminación del agua y las prácticas sostenibles para reducir la contaminación. La participación activa de la comunidad en el monitoreo y la protección del río puede fomentar

un sentido de responsabilidad y empoderamiento, asegurando la sostenibilidad de las acciones de mitigación a largo plazo.

La investigación sobre los contaminantes inorgánicos en el Río Maguaca es fundamental para abordar una problemática ambiental, sanitaria y socioeconómica de gran relevancia en la Provincia Sánchez Ramírez. La justificación de este estudio radica en la necesidad urgente de proteger los recursos hídricos, salvaguardar la salud pública, promover el desarrollo sostenible y cumplir con las normativas ambientales. Los resultados esperados no solo aportarán al conocimiento científico, sino que también tendrán un impacto directo y positivo en la calidad de vida de las comunidades locales y en la preservación del medio ambiente.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Caracterizar los contaminantes inorgánicos que se encuentran en el río Maguaca en la provincia Sánchez Ramírez, Cotuí.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

Identificar las principales fuentes de contaminación inorgánica en el río.

Determinar los niveles de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos presentes en diferentes puntos del río.

Proponer medidas de mitigación y estrategias de manejo sostenible para reducir la contaminación inorgánica.

## **1.5 Sistematización de las variables e indicadores**

| <b>Objetivos específicos</b>                                               | <b>Variables</b>                    | <b>Indicadores</b>                                                                                       | <b>Pregunta de investigación</b>                                           |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Identificar las principales fuentes de contaminación inorgánica en el río. | Fuentes de contaminación inorgánica | Emisiones Atmosféricas.<br>Descargas de Aguas Residuales.<br>Vertidos Industriales.<br>Residuos Sólidos. | ¿Cuáles son las principales fuentes de contaminación inorgánica en el río? |

|                                                                                                                     |                                                   |                                                                                                                                            |                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                     |                                                   | Agricultura y Uso de Fertilizantes.<br>Minería.                                                                                            |                                                                                                                      |
| Determinar los niveles de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos presentes en diferentes puntos del río. | Metales pesados y otros contaminantes inorgánicos | Análisis del agua.<br>Muestreo del suelo.<br>Biomonitoreo.<br>Análisis de residuos.<br>Monitoreo de la salud.                              | ¿Cuáles son los niveles de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos presentes en diferentes puntos del río? |
| Proponer medidas de mitigación y estrategias de manejo sostenible para reducir la contaminación inorgánica.         | Medidas de mitigación                             | Calidad del agua.<br>Biodiversidad acuática.<br>Calidad del sedimento.<br>Monitoreo de la vegetación riparia.<br>Niveles de contaminantes. | ¿Cuáles son medidas de mitigación y estrategias de manejo sostenible para reducir la contaminación inorgánica?       |

## 1.6 Alcance y límites

### Delimitación del Contenido.

**Campo** : Química

**Área** : Química.

**Aspecto** : Contaminantes inorgánicos que se encuentran en el río.

El trabajo de investigación está centrado en el municipio de Cotuí, específicamente en la zona rural y dirigido al municipio de Cotuí, Provincia Sánchez Ramírez.

Está limitado a caracterizar los contaminantes inorgánicos que se encuentran en el río Maguaca en la provincia Sánchez Ramírez, Cotuí, con la finalidad de dar una respuesta en cuanto a la calidad del agua según estudio realizado.

El estudio estuvo limitado exclusivamente al municipio de Cotuí, y referido a identificar los contaminantes inorgánicos que se encuentran en el río Maguaca en la provincia Sánchez Ramírez, Cotuí.

## 1.7 Definición de términos

**Bioacumulación:** Acumulación de sustancias tóxicas, como metales pesados, en los tejidos de un organismo a lo largo de su vida, debido a la exposición continua a estas sustancias a través del agua, el aire o los alimentos. (Santana, 2021).

**Biomagnificación:** Proceso por el cual ciertas sustancias tóxicas, como metales pesados, se acumulan en los tejidos de los organismos a lo largo de la cadena alimentaria, aumentando su concentración a medida que se avanza en la misma. (Mena, 2022).

**Compuestos Químicos Inorgánicos:** Sustancias químicas que no contienen enlaces carbono-hidrógeno y que pueden ser contaminantes en el agua del río Maguaca, como los nitratos, fosfatos y sulfatos. (Rosario, 2023).

**Contaminación Difusa:** Liberación dispersa de contaminantes inorgánicos en el río Maguaca desde múltiples fuentes, como la escorrentía de campos agrícolas, áreas urbanas o carreteras, dificultando su identificación y control. (Ruiz, 2022).

**Contaminación Puntual:** Liberación directa y localizada de contaminantes inorgánicos en el río Maguaca desde una fuente específica, como una fábrica o una planta de tratamiento de aguas residuales. (Otáñez, 2022).

**Contaminantes Inorgánicos:** Sustancias químicas que provienen de fuentes no vivas, como minerales, metales y productos químicos sintéticos, que pueden contaminar el medio ambiente, incluyendo el agua. (Ortega, 2022).

**Eutrofización:** Proceso por el cual el agua se enriquece con nutrientes, como nitratos y fosfatos, favoreciendo el crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, lo cual puede ser provocado por la presencia de contaminantes inorgánicos. (Hernández, 2021).

**Filtración:** Proceso natural o artificial de purificación del agua que consiste en hacerla pasar a través de un medio poroso para retener los contaminantes inorgánicos presentes en ella. (Ferreira, 2022).

**Impacto Ambiental:** Los efectos negativos que la presencia de contaminantes inorgánicos puede tener en el ecosistema del río Maguaca, incluyendo la contaminación del agua, la afectación de la vida acuática y la salud humana. (Fernández, 2022).

**Legislación Ambiental:** Conjunto de leyes y regulaciones establecidas por el gobierno de la República Dominicana para proteger el medio ambiente, incluyendo la regulación de la contaminación del agua y la gestión de residuos peligrosos. (Ortega, 2022).

**Metales Pesados:** Elementos químicos metálicos con alta densidad y toxicidad, como el plomo, el mercurio y el cadmio, que pueden ser contaminantes inorgánicos presentes en el agua del río Maguaca. (Otáñez, 2022).

**Monitoreo Ambiental:** La actividad de recolección y análisis de datos sobre la calidad del agua del río Maguaca, para evaluar la presencia y concentración de contaminantes inorgánicos y tomar medidas para su mitigación. (Ferreira, 2022).

**Provincia Sánchez Ramírez:** Una división administrativa de la República Dominicana donde se encuentra el río Maguaca, y que puede estar enfrentando problemas de contaminación. (Ruiz, 2022).

**Remediación Ambiental:** Proceso de restauración y rehabilitación del ecosistema del río Maguaca afectado por la presencia de contaminantes inorgánicos, mediante la implementación de técnicas y medidas para reducir o eliminar dichos contaminantes y restaurar la calidad del agua y el hábitat acuático. (Mena, 2022).

**Río Maguaca:** Un cuerpo de agua ubicado en la provincia Sánchez Ramírez, República Dominicana, que puede estar siendo afectado por la presencia de contaminantes inorgánicos. (Santana, 2021).

## **1.8 Marco contextual**

Según Rincón (2017) Cotuí es el municipio cabecero de la provincia de Sánchez Ramírez de la República Dominicana y está ubicada al Norte de la Sierra de Yamasá en el Valle del Cibao, cerca del Río Yuna. Se limita al Norte con la provincia Duarte, al Sur con la provincia Monte Plata, el Este con el municipio de Cevicos, y al Oeste con el municipio de Villa La Mata. Cuenta con cinco distritos municipales: Caballero, Comedero Arriba, Platanal, Quita Sueño y Zambrana.

La provincia Sánchez Ramírez está enclavada en la rica macro Región Central del país, denominada Cibao Sur, cuenta con una superficie de 1,185.8 km<sup>2</sup>. Está calificada

como una zona altamente generadora de productos, bienes y servicios agropecuarios y mineros. Sus suelos disfrutan de alta pluviometría durante todo el año, muy por encima del promedio nacional. Asimismo, la alta calidad y fertilidad de los mismos es muy significativa para marcar la diferencia positiva y productiva a favor de la provincia. Son suelos aptos para la producción eficiente de todo tipo de cultivos. Cultivos como el arroz y la piña, son considerados emblemáticos en el perfil productivo de Sánchez Ramírez. (FOMISAR, 2015).

La economía de Sánchez Ramírez tiene su base en la producción, especialmente en la producción de arroz, de frutas como la piña y los cítricos, con unas 38,000 tareas sembradas de naranjales, 2,200 tareas sembradas de limón agrio, 8,500 tareas de chinolas, 7,000 de maíz, 10,000 de yuca, además de algunos frutos menores como la yautía, el ñame y la auyama. (FOMISAR, 2015).

Así como en Sánchez Ramírez existen un sin número de factorías de arroz, también la provincia cuenta con varias empacadoras de frutas, donde se logra un comercio, aunque un poco tímido de exportación de piña. Otro fruto que se exporta al importante mercado europeo es el seso vegetal, única provincia del país que lo produce. A pesar de que la producción de cacao ha disminuido en las últimas décadas, aún se siente vigorosa su producción, sobre todo entre los que se dedican a la comercialización del producto. En la zona del municipio de Cevicos se produce especias, como en ninguna otra región del país, se cosecha clavos, canela, nuez moscada y pimientas. (Ibid, 2015).

La riqueza minera de la provincia es significativa, poseyendo una de las minas de oro más grandes del mundo. Esta mina está siendo explotada actualmente por la Barrick Gold, empresa de origen canadiense. En la década de los 80 fue explotada por la Rosario Dominicana. (Ibid, 2015).

Su riqueza y principales cultivos pueden ser ejemplificados en la zona de Hatillo, tradicionalmente considerada como una de las más productivas de la provincia. La evidencia está en los datos de un censo realizado por el Comité de los Ranchos y sus alrededores y que cita Ricardo Hernández. EL área de siembra de la zona estaba distribuida

de la manera siguiente: 795 tareas cultivadas de cacao, 2,308 de café, 3,350 de frutos menores y 2,558 de pastos. El autor afirma que su importancia productiva era tal que funcionaba una subzona agropecuaria de la Secretaria de Estado de Agricultura (SEA). Agrega que: “Las características naturales de esta comunidad son ricas en sus recursos naturales y plantas alimenticias, industriales, maderables. (Ibidem, 2017)

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

#### **2.1 Introducción**

Este capítulo aborda los fundamentos teóricos que sustentan esta investigación, en la misma se encuentran las principales investigaciones, estudios, teorías, publicaciones e informaciones sobre las variables que se encuentran involucradas en la investigación. En tal sentido, las consultas reúnen las informaciones más actualizadas, garantizando la integridad y el respeto del derecho del autor.

#### **2.2 Fuentes de contaminación inorgánica**

##### **2.2.1 Emisiones Atmosféricas.**

Los contaminantes atmosféricos, como los óxidos de nitrógeno (NOx) y los óxidos de azufre (SOx), pueden depositarse en la superficie terrestre a través de la lluvia ácida o la deposición seca. Cuando estos contaminantes se depositan en el suelo, pueden infiltrarse en el agua subterránea y, eventualmente, alcanzar los ríos y arroyos cercanos. (Aiuppa, 2023).

Las partículas finas y otros contaminantes atmosféricos pueden depositarse en la superficie del suelo y ser arrastrados por la escorrentía superficial durante las lluvias hacia los cuerpos de agua cercanos. Esta escorrentía puede transportar contaminantes como metales pesados, hidrocarburos y productos químicos tóxicos hacia los ríos, contribuyendo a su contaminación. (Albert 2017).

Las emisiones atmosféricas pueden debilitar la salud de los ecosistemas terrestres al acidificar el suelo, matar vegetación y aumentar la erosión. La erosión del suelo puede llevar a la liberación de sedimentos y nutrientes al agua, lo que puede aumentar la turbidez y la eutrofización de los ríos. Algunos contaminantes atmosféricos, como los hidrocarburos y los productos químicos industriales, pueden ser liberados directamente al agua a través de vertidos industriales no controlados, fugas de tanques de almacenamiento, derrames de petróleo y descargas de aguas residuales urbanas. (Allan, 2017).

Los contaminantes atmosféricos depositados en el agua pueden ser absorbidos por organismos acuáticos y biomagnificados a medida que avanzan a lo largo de la cadena alimentaria, lo que resulta en concentraciones más altas de contaminantes en los organismos superiores, como peces y aves acuáticas. (Auquilla, 2020).

La contaminación de los ríos debido a las emisiones atmosféricas puede tener efectos devastadores en los ecosistemas acuáticos, la biodiversidad y la salud humana. Por lo tanto, es crucial implementar medidas de control de la contaminación atmosférica, así como prácticas de gestión del suelo y del agua que reduzcan la carga de contaminantes que ingresan a los ríos y otros cuerpos de agua. Además, es necesario un enfoque integrado que aborde tanto la contaminación atmosférica como la contaminación del agua para proteger de manera efectiva los recursos hídricos. (Allan, 2020).

### **2.2.2 Descargas de Aguas Residuales.**

Las aguas residuales pueden contener una amplia gama de contaminantes químicos, que incluyen productos químicos industriales, pesticidas, fertilizantes, metales pesados, productos farmacéuticos y productos de limpieza domésticos. Estos contaminantes pueden ser liberados directamente al río a través de los sistemas de alcantarillado pluvial o de aguas residuales, o a través de descargas industriales y agrícolas no controladas. (Ayers, 2024).

Las aguas residuales también pueden contener altas concentraciones de nutrientes, como nitratos y fosfatos, que provienen de fuentes como las aguas residuales urbanas y las aguas de escorrentía agrícola. Estos nutrientes pueden provocar la eutrofización de los ríos, un proceso en el cual se produce un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, que luego mueren y se descomponen, agotando el oxígeno del agua y causando la muerte de peces y otros organismos acuáticos. (Barceló, 2022).

Las aguas residuales pueden contener microorganismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos, que representan un riesgo para la salud humana cuando entran en contacto con el agua de los ríos. Estos microorganismos pueden causar enfermedades transmitidas por el agua, como gastroenteritis, hepatitis y enfermedades transmitidas por el agua. (Bartram, 2020).

Las aguas residuales contienen materia orgánica en descomposición, que consume oxígeno durante el proceso de descomposición bacteriana. Cuando grandes cantidades de aguas residuales se descargan en un río, esto puede resultar en una demanda biológica de oxígeno (DBO) alta, lo que reduce los niveles de oxígeno disuelto en el agua y puede causar la muerte de peces y otros organismos acuáticos. (Bere, 2022).

Las aguas residuales pueden transportar sedimentos y sólidos suspendidos, que pueden aumentar la turbidez del agua y reducir la penetración de la luz solar en el agua. Esto puede afectar negativamente a los organismos acuáticos que dependen de la luz solar para la fotosíntesis y puede dañar los hábitats acuáticos, como los lechos de arrecifes de coral. (Bermúdez, 2020).

Para prevenir la contaminación de los ríos debido a las descargas de aguas residuales, es fundamental implementar sistemas de gestión de aguas residuales efectivos, que incluyan el tratamiento adecuado de aguas residuales antes de su descarga al medio ambiente, así como la implementación de regulaciones ambientales y prácticas de gestión sostenible en industrias, agricultura y sectores domésticos. Además, la conciencia pública sobre la importancia de la protección de los recursos hídricos y el uso responsable del agua también es crucial para abordar este problema. (Biggs, 2020).

### **2.2.3 Vertidos Industriales.**

Las industrias pueden liberar una amplia gama de productos químicos y compuestos tóxicos en sus vertidos, que incluyen metales pesados como mercurio, plomo y cadmio, productos químicos orgánicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), y otros contaminantes como los compuestos orgánicos volátiles (COV) y los productos químicos utilizados en los procesos de fabricación. Estos productos químicos pueden ser altamente tóxicos para la vida acuática y pueden bioacumularse a lo largo de la cadena alimentaria, lo que resulta en efectos adversos en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. (Boháček, 2023).

Algunas industrias también pueden liberar nutrientes, como nitrógeno y fósforo, en sus vertidos, que pueden contribuir a la eutrofización de los ríos y arroyos. Esto puede resultar en un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas, que consumen oxígeno

durante su descomposición y pueden causar la muerte de peces y otros organismos acuáticos debido a la hipoxia. (Brettum, 2021).

Los vertidos industriales también pueden contener sedimentos y sólidos suspendidos, que pueden aumentar la turbidez del agua y reducir la penetración de la luz solar en el agua. Esto puede afectar negativamente a los organismos acuáticos que dependen de la luz solar para la fotosíntesis y puede dañar los hábitats acuáticos, como los lechos de arrecifes de coral. (Briemberg, 2024).

Algunas industrias descargan aguas residuales calientes en los cuerpos de agua, lo que puede elevar la temperatura del agua y alterar los hábitats acuáticos. Los cambios en la temperatura del agua pueden afectar la distribución y el comportamiento de los organismos acuáticos, y pueden aumentar la susceptibilidad de los organismos a enfermedades y cambios ambientales. (Caballero, 2022).

Los vertidos industriales pueden tener impactos acumulativos en la calidad del agua de los ríos, especialmente cuando varios vertidos se combinan en una sola corriente. Esto puede resultar en la acumulación de contaminantes a lo largo del tiempo, lo que puede tener efectos graves en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. (Chapman, 2022).

Para abordar la contaminación de los ríos debido a los vertidos industriales, es importante implementar medidas de control de la contaminación, como la aplicación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales en las instalaciones industriales, la implementación de regulaciones ambientales más estrictas y la promoción de prácticas de gestión ambiental sostenible en la industria. Además, la participación pública y la supervisión son fundamentales para garantizar el cumplimiento de las regulaciones ambientales y proteger la calidad del agua de los ríos. (De Nicola, 2016).

#### **2.2.4 Residuos Sólidos.**

La basura y los desechos sólidos, como plásticos, vidrios, metales y otros materiales, a menudo son arrojados directamente a los ríos y arroyos, ya sea por la población local o a través de la erosión del suelo y la escorrentía durante eventos de lluvia. Estos desechos pueden acumularse en las orillas de los ríos, crear obstrucciones en los cauces de agua y contaminar el entorno acuático. (Elosegi, 2021).

Algunas industrias y actividades comerciales pueden verter ilegalmente sus desechos sólidos en ríos y cuerpos de agua cercanos. Esto puede incluir desechos químicos, productos de desecho y otros materiales contaminantes que pueden afectar negativamente la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. (FAO. 2023).

Los vertederos de basura pueden filtrar lixiviados, que son líquidos contaminados que se generan cuando el agua fluye a través de los desechos sólidos y recoge compuestos químicos y materiales tóxicos. Si los lixiviados no se manejan adecuadamente, pueden filtrarse en los suelos y las aguas subterráneas, y eventualmente llegar a los ríos y arroyos, contaminando el agua y los organismos acuáticos. (Flores, 2019).

Los plásticos son una forma especialmente preocupante de residuos sólidos debido a su persistencia en el medio ambiente. Los desechos plásticos pueden fragmentarse en partículas más pequeñas llamadas microplásticos, que pueden ser transportados por el agua y contaminar los ríos. Los microplásticos pueden acumularse en el lecho de los ríos, ser ingeridos por la vida acuática y causar daños a los organismos y a los ecosistemas acuáticos en general. (Kransky, 2023).

La contaminación por residuos sólidos puede tener graves consecuencias para la vida silvestre que habita en y alrededor de los ríos. Los animales pueden quedar atrapados en la basura o ingerir desechos que confunden con alimento, lo que puede causar lesiones, enfermedades e incluso la muerte. (Leopold, 2022).

Para abordar la contaminación de los ríos debido a los residuos sólidos, es fundamental implementar estrategias de gestión de residuos sólidos efectivas, que incluyan la reducción en la fuente, la recogida y el tratamiento adecuados de los residuos, así como la promoción de la reutilización y el reciclaje. También es importante educar al público sobre la importancia de la gestión adecuada de los residuos y fomentar un cambio en el comportamiento hacia prácticas más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. (Masís, 2021).

### **2.2.5 Agricultura y Uso de Fertilizantes.**

Cuando se aplican fertilizantes en los campos agrícolas, los nutrientes como nitrógeno y fósforo pueden ser arrastrados por la escorrentía superficial durante las lluvias

o infiltrarse en el suelo y luego ser lixiviados hacia las aguas subterráneas. Estos nutrientes pueden llegar a los ríos y arroyos a través de la escorrentía o la base del suelo, contribuyendo a la eutrofización de los cuerpos de agua. (Flores, 2019).

El exceso de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, puede provocar la eutrofización de los ríos y arroyos. Cuando estos nutrientes llegan a los cuerpos de agua, estimulan un crecimiento excesivo de algas y plantas acuáticas. A medida que estas plantas mueren y se descomponen, el proceso consume oxígeno, lo que puede llevar a la hipoxia y a la muerte de peces y otros organismos acuáticos. (Elosegi, 2021).

Los fertilizantes también pueden contener otros contaminantes, como metales pesados y productos químicos utilizados en su fabricación. Estos contaminantes pueden lixiviar junto con los nutrientes y llegar a los cuerpos de agua, donde pueden afectar negativamente la salud de los ecosistemas acuáticos y la vida silvestre. (Leopold, 2022).

La agricultura intensiva que depende en gran medida del riego puede agotar los recursos hídricos locales, lo que puede resultar en la reducción de los caudales de los ríos y la disminución de los niveles de agua en los cuerpos de agua, lo que afecta la biodiversidad acuática y los ecosistemas ribereños. (Albert 2017).

Además de los fertilizantes, el uso de pesticidas en la agricultura puede contribuir a la contaminación de los ríos y arroyos. Los pesticidas pueden ser arrastrados por la escorrentía superficial o lixiviar hacia las aguas subterráneas, donde pueden contaminar las fuentes de agua potable y afectar la salud de los ecosistemas acuáticos. (Aiuppa, 2023).

Para abordar la contaminación de los ríos debido al uso de fertilizantes en la agricultura, es fundamental implementar prácticas agrícolas sostenibles que reduzcan la dependencia de los fertilizantes químicos y promuevan el uso de técnicas de gestión de nutrientes más eficientes, como la rotación de cultivos, el cultivo de cobertura y la aplicación precisa de fertilizantes. Además, se deben establecer regulaciones ambientales que limiten la cantidad de nutrientes y otros contaminantes que pueden ser liberados en los cuerpos de agua, y promover la conservación y restauración de hábitats acuáticos para proteger la salud de los ecosistemas acuáticos. (De Nicola, 2016).

### 2.2.6 Minería.

Uno de los principales problemas ambientales asociados con la minería es el drenaje ácido de minas. Cuando se extraen minerales como el carbón, el oro, el cobre y otros metales, las rocas expuestas a la intemperie pueden liberar sulfuros que reaccionan con el oxígeno y el agua para formar ácido sulfúrico. Este ácido, junto con los metales disueltos en el agua, puede contaminar los ríos y arroyos cercanos, acidificando el agua y dañando los ecosistemas acuáticos. (Caballero, 2022).

La minería genera grandes cantidades de desechos sólidos, conocidos como escorias, relaves o jales, que pueden contener metales pesados y otros contaminantes. Si estos desechos no se manejan adecuadamente, pueden filtrarse en los cuerpos de agua a través de la escorrentía superficial o infiltrarse en las aguas subterráneas, contaminando los ríos y arroyos cercanos y afectando la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos. (Kransky, 2023).

La minería a menudo implica la remoción de grandes cantidades de suelo y vegetación, lo que puede aumentar la erosión del suelo y la sedimentación en los cuerpos de agua cercanos. Los sedimentos pueden transportar contaminantes como metales pesados y productos químicos utilizados en el proceso minero, y pueden afectar la calidad del agua y los hábitats acuáticos al aumentar la turbidez del agua y alterar los lechos de los ríos. (Flores, 2019).

Algunos métodos de minería, como la minería a cielo abierto y la lixiviación con cianuro, requieren el uso de productos químicos como explosivos, reactivos de flotación y cianuro. Estos productos químicos pueden filtrarse en los cuerpos de agua durante el proceso minero o ser liberados accidentalmente en el medio ambiente, lo que puede contaminar los ríos y arroyos cercanos y afectar la salud de los ecosistemas acuáticos. (Bere, 2022).

La minería puede alterar significativamente el paisaje natural, destruyendo hábitats acuáticos y terrestres, y afectando los patrones naturales de drenaje de agua. Esto puede tener consecuencias negativas para la calidad del agua de los ríos y arroyos, así como para la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos. (Allan, 2020).

Para abordar la contaminación de los ríos debido a la minería, es fundamental implementar prácticas mineras más sostenibles y responsables, que incluyan la gestión adecuada de los desechos mineros, la prevención del drenaje ácido de minas, la reducción del uso de productos químicos tóxicos y la restauración de los hábitats acuáticos y terrestres afectados. Además, se deben establecer regulaciones ambientales más estrictas y promover la participación pública en el monitoreo y la supervisión de las operaciones mineras para proteger la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos. (Elosegi, 2021).

## **2.3 Metales pesados y otros contaminantes inorgánicos**

### **2.3.1 Análisis del agua.**

El análisis del agua para determinar metales pesados y otros contaminantes es fundamental para garantizar su seguridad y calidad.

Se recolectan muestras representativas del agua en diferentes puntos, como fuentes de suministro, pozos, ríos o cuerpos de agua. Es crucial seguir procedimientos adecuados de muestreo para evitar contaminaciones cruzadas y asegurar la precisión de los resultados. Las muestras de agua recolectadas deben ser preparadas antes del análisis. Esto puede implicar filtrar el agua para eliminar partículas sólidas, ajustar el pH si es necesario y preservar las muestras para evitar cambios en la composición antes del análisis. (García, 2020).

Los metales pesados como el plomo, mercurio, cadmio, arsénico, entre otros, son algunos de los contaminantes más comunes en el agua. Estos se pueden analizar utilizando diferentes técnicas, como espectroscopía de absorción atómica, espectrometría de masas, o técnicas electroquímicas. (De Nicola, 2016).

Además de los metales pesados, el agua también puede contener una variedad de otros contaminantes, como pesticidas, herbicidas, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos, y otros productos químicos industriales. Estos también se pueden analizar utilizando diversas técnicas analíticas, como cromatografía de gases, cromatografía líquida, o técnicas de espectroscopía. (Bermúdez, 2020).

Una vez completado el análisis, los resultados se comparan con los estándares de calidad del agua establecidos por las autoridades regulatorias. Si los niveles de

contaminantes superan los límites aceptables, se deben tomar medidas correctivas para mitigar los riesgos para la salud pública y el medio ambiente. (Aiuppa, 2023).

Los resultados del análisis deben documentarse en un informe detallado que incluya los métodos utilizados, los resultados obtenidos y las conclusiones. Este informe suele ser compartido con las autoridades reguladoras, clientes o partes interesadas relevantes. El análisis del agua para determinar metales pesados y otros contaminantes es un proceso complejo pero fundamental para garantizar la seguridad y calidad del agua potable y el medio ambiente. (Ayers, 2024).

### **2.3.2 Muestreo del suelo.**

Antes de comenzar, es importante planificar cuidadosamente el muestreo. Esto implica identificar las áreas específicas del río que se van a muestrear, teniendo en cuenta factores como la geografía, la historia de la contaminación y la actividad humana cercana. Selecciona puntos de muestreo representativos a lo largo del río, incluyendo áreas donde se sospeche que la contaminación pueda ser más alta, como cerca de fuentes industriales o áreas urbanas. (Elosegi, 2021).

Asegúrate de contar con el equipo adecuado para el muestreo, que puede incluir herramientas para la recolección de muestras de suelo, recipientes de almacenamiento, guantes de protección y equipos de seguridad personal. Utiliza métodos estandarizados para recolectar muestras de suelo en cada punto de muestreo. Por lo general, se toman varias muestras de diferentes puntos dentro de cada ubicación para obtener una representación más precisa del área. (García, 2020).

Una vez recogidas, las muestras deben ser etiquetadas adecuadamente y almacenadas en recipientes limpios y adecuados para su transporte sin contaminación adicional. Las muestras se envían a laboratorios especializados para su análisis. Allí, se utilizan técnicas como la espectrometría de masas o la espectroscopia para determinar la concentración de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos en el suelo. (Bermúdez, 2020).

Una vez que se obtienen los resultados del análisis, se comparan con los estándares de calidad del agua y las regulaciones ambientales para evaluar el grado de contaminación

y su impacto potencial en el medio ambiente y la salud humana. Finalmente, se elaboran informes detallados que resuman los resultados del muestreo y se recomiendan acciones de seguimiento, como medidas de mitigación de la contaminación o monitoreo continuo. Es importante tener en cuenta que el muestreo del suelo debe realizarse de manera cuidadosa y metódica para garantizar la precisión de los resultados y la efectividad de cualquier acción de seguimiento que se tome. (Biggs, 2020).

### **2.3.3 Biomonitoreo.**

El biomonitoreo es una herramienta importante en la evaluación de la calidad ambiental, especialmente en lo que respecta a la contaminación de los ríos y otros cuerpos de agua. En lugar de analizar directamente el agua o el suelo, el biomonitoreo implica el estudio de organismos vivos para detectar y cuantificar la presencia de contaminantes y evaluar su impacto en el medio ambiente. (Auquilla, 2020).

Se eligen ciertas especies de plantas, animales o microorganismos que son sensibles a los contaminantes específicos que se están estudiando. Estos organismos indicadores pueden proporcionar información sobre la presencia y el nivel de contaminación en un área determinada. Se recolectan muestras de los organismos seleccionados en diferentes puntos a lo largo del río. Estas muestras pueden ser analizadas en el laboratorio para determinar la concentración de contaminantes en los tejidos de los organismos. (Leopold, 2022).

Además de medir directamente los contaminantes, el biomonitoreo puede implicar el análisis de biomarcadores, que son cambios biológicos medibles que indican exposición a sustancias químicas específicas. Estos biomarcadores pueden incluir cambios en la expresión génica, la actividad enzimática o la presencia de productos metabólicos. El biomonitoreo proporciona información sobre el impacto real de los contaminantes en los organismos vivos y en los ecosistemas acuáticos en su conjunto. Esto puede ayudar a identificar áreas con altos niveles de contaminación y a guiar acciones de gestión y conservación. (Masís, 2021).

El biomonitoreo también puede utilizarse para monitorear cambios en la calidad del agua y la salud del ecosistema a lo largo del tiempo. Esto permite evaluar la efectividad de medidas de mitigación de la contaminación y detectar tendencias a largo plazo en la calidad

ambiental. El biomonitordeo es una herramienta valiosa en la evaluación de la contaminación de los ríos y otros cuerpos de agua, ya que proporciona información detallada sobre la presencia y el impacto de los contaminantes en los organismos vivos y en los ecosistemas acuáticos. (Flores, 2019).

#### **2.3.4 Análisis de residuos.**

El análisis de residuos es un proceso fundamental para evaluar la presencia y la cantidad de sustancias nocivas en diferentes tipos de muestras, ya sean ambientales, alimenticias, o relacionadas con la salud humana. (García, 2020).

El primer paso es recoger muestras representativas del material a analizar, que pueden ser suelos, aguas, alimentos, tejidos biológicos, entre otros. Luego, las muestras pueden necesitar ser preparadas y procesadas para su análisis, lo que puede incluir trituración, filtración, extracción, o cualquier otro método necesario para obtener una muestra homogénea y adecuada para el análisis. (Barceló, 2022).

Existen diversas técnicas de análisis que se utilizan según el tipo de residuo y la sensibilidad requerida. Algunas de las técnicas comunes incluyen la cromatografía (como la cromatografía líquida de alta resolución y la cromatografía de gases), espectrometría (de masas, de absorción atómica, de emisión óptica), técnicas inmunológicas (como ELISA), entre otras. (Bere, 2022).

En muchos casos, los residuos deben ser extraídos y purificados antes del análisis para concentrar los analitos de interés y eliminar posibles interferencias. Esto puede implicar el uso de solventes, columnas de purificación, o métodos de extracción sólido-líquido. (Albert 2017).

Para cuantificar la cantidad de residuo presente en la muestra, es necesario comparar los resultados con estándares de referencia. Por lo tanto, se deben preparar curvas de calibración utilizando estándares de alta pureza que contengan las sustancias de interés en concentraciones conocidas. (Caballero, 2022).

Una vez que se ha realizado el análisis, se procesan los datos y se interpretan los resultados. Esto puede implicar la comparación de las concentraciones medidas con los límites regulatorios establecidos, la evaluación de la significancia estadística, y la

identificación de posibles fuentes de contaminación o riesgos para la salud. (Briemberg, 2024).

Finalmente, se genera un informe que resume los resultados del análisis, junto con cualquier recomendación pertinente basada en los hallazgos. Estas recomendaciones pueden incluir medidas para reducir la exposición a los residuos, acciones de gestión ambiental, o regulaciones para garantizar la seguridad pública. El análisis de residuos es esencial para garantizar la seguridad de los alimentos, el agua y el medio ambiente, así como para evaluar los riesgos para la salud humana y animal asociados con la exposición a sustancias potencialmente peligrosas. (Chapman, 2022).

### **2.3.5 Monitoreo de la salud.**

El monitoreo de la salud es un proceso continuo de evaluación y seguimiento de la salud de las personas, comunidades o poblaciones. Este monitoreo puede tener diferentes enfoques y objetivos, que van desde la detección temprana de enfermedades hasta la evaluación de programas de salud pública. (Kransky, 2023).

Una de las funciones principales del monitoreo de la salud es identificar tempranamente la presencia de enfermedades o condiciones de salud en la población. Esto puede implicar la realización de exámenes médicos regulares, pruebas de laboratorio, estudios de imagenología, u otras técnicas de diagnóstico. (Flores, 2019).

El monitoreo de la salud también incluye la vigilancia epidemiológica, que consiste en recopilar, analizar e interpretar datos sobre la incidencia y la prevalencia de enfermedades en una población determinada. Esto ayuda a identificar tendencias de salud, brotes de enfermedades, y factores de riesgo para la salud pública. (Bermúdez, 2020).

Los programas de salud pública, como campañas de vacunación, programas de prevención de enfermedades crónicas, o intervenciones para el control de enfermedades infecciosas, también son monitoreados para evaluar su eficacia y impacto en la salud de la población. Además de evaluar la presencia de enfermedades, el monitoreo de la salud también puede involucrar la evaluación de factores determinantes de la salud, como el acceso a servicios de salud, la nutrición, el ambiente físico y social, y los comportamientos saludables. (Biggs, 2020).

El avance de la tecnología ha permitido la recopilación y el análisis de grandes cantidades de datos de salud, que pueden ser utilizados para monitorear la salud a nivel individual y poblacional. Esto incluye el uso de registros médicos electrónicos, aplicaciones móviles de salud, sensores de salud, y sistemas de información de salud. Los resultados del monitoreo de la salud pueden guiar la toma de decisiones en salud pública, como la asignación de recursos, el desarrollo de políticas, la implementación de intervenciones preventivas, y la promoción de estilos de vida saludables. (Bere, 2022).

El monitoreo de la salud es un proceso integral que implica la evaluación continua de la salud de las personas y las comunidades, así como la identificación de factores que influyen en la salud y la toma de medidas para promover el bienestar y prevenir enfermedades. (Leopold, 2022).

## **2.4 Medidas de mitigación**

### **2.4.1 Calidad del agua.**

La calidad del agua se refiere a la medida en que el agua es adecuada para diversos usos, incluyendo el consumo humano, la agricultura, la industria y el mantenimiento de ecosistemas saludables. Se evalúa mediante diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos. Incluye la claridad, el color y la turbidez del agua, que pueden indicar la presencia de sedimentos, materia orgánica u otros contaminantes. (Allan, 2020).

Esto abarca la presencia de sustancias químicas en el agua, como nutrientes (nitratos, fosfatos), metales pesados (plomo, mercurio), productos químicos industriales (hidrocarburos, pesticidas) y contaminantes orgánicos (bacterias, virus). El pH del agua puede afectar su capacidad para soportar vida acuática y el uso humano. Valores extremos de pH pueden ser indicativos de contaminación. (Bartram, 2020).

El oxígeno disuelto es vital para la vida acuática. Niveles bajos pueden indicar contaminación o una alta demanda biológica de oxígeno debido a la descomposición de materia orgánica. La dureza del agua se refiere a la concentración de minerales, como calcio y magnesio, y puede afectar la aptitud del agua para el consumo humano y el uso industrial. La conductividad eléctrica del agua puede ser indicativa de la presencia de sales disueltas

y contaminantes. Incluyen bacterias, virus y parásitos que pueden causar enfermedades transmitidas por el agua, como la diarrea y la fiebre tifoidea. (Caballero, 2022).

La evaluación de la calidad del agua es crucial para proteger la salud pública, mantener la salud de los ecosistemas acuáticos y garantizar el suministro sostenible de agua dulce. Se realizan monitoreos regulares y análisis de muestras de agua para identificar problemas de contaminación y tomar medidas correctivas para mejorar y proteger la calidad del agua. (De Nicola, 2016).

#### **2.4.2 Biodiversidad acuática.**

La biodiversidad acuática se refiere a la variedad y abundancia de vida en los sistemas acuáticos, que incluyen océanos, mares, ríos, lagos, estanques, humedales y arrecifes de coral. Esta biodiversidad es esencial para el funcionamiento saludable de los ecosistemas acuáticos y para el bienestar humano, ya que proporciona una serie de servicios ecosistémicos, como la purificación del agua, la regulación del clima, la protección contra inundaciones y la provisión de alimentos y medios de vida. (Masís, 2021).

La flora acuática, incluye una variedad de plantas acuáticas como algas, hierbas acuáticas, musgos y algas macroscópicas. Estas plantas desempeñan un papel fundamental en la producción de oxígeno, la estabilización de sedimentos y la creación de hábitats para otras formas de vida acuática. (Elosegi, 2021).

La fauna acuática, comprende una amplia gama de organismos, desde pequeños microorganismos como bacterias y protozoos hasta peces, crustáceos, moluscos, anfibios, reptiles y mamíferos acuáticos como delfines y ballenas. La diversidad de especies proporciona estabilidad y resiliencia a los ecosistemas acuáticos. (Kransky, 2023).

Los microorganismos acuáticos, son organismos diminutos, como bacterias, virus, hongos y protozoos, que desempeñan funciones vitales en la descomposición de materia orgánica, la ciclación de nutrientes y la purificación del agua. (Allan, 2020).

Las especies migratorias, como los peces, las aves acuáticas y las tortugas marinas, realizan migraciones estacionales entre diferentes hábitats acuáticos para alimentarse, reproducirse o escapar de condiciones ambientales adversas. Estas migraciones son

importantes para mantener la diversidad genética y la salud de las poblaciones. (Brettum, 2021).

Los hábitats acuáticos diversos, como los arrecifes de coral, los manglares, los humedales, los bosques de algas y las praderas marinas, albergan una variedad única de especies y desempeñan funciones ecológicas específicas. (Briemberg, 2024).

La biodiversidad acuática enfrenta numerosas amenazas, incluida la contaminación del agua, la degradación del hábitat, la sobrepesca, el cambio climático, la introducción de especies invasoras y la alteración de los patrones hidrológicos. La conservación y gestión sostenible de los ecosistemas acuáticos son fundamentales para proteger y promover la biodiversidad acuática y los servicios ecosistémicos que proporcionan. (Albert 2017).

#### **2.4.3 Calidad del sedimento.**

La calidad del sedimento se refiere a la composición física, química y biológica de los materiales depositados en el lecho de un cuerpo de agua, como un río, lago, estuario o mar. La evaluación de la calidad del sedimento es importante debido a su papel en la salud de los ecosistemas acuáticos y su influencia en la calidad del agua y la vida acuática. (De Nicola, 2016).

La textura, la granulometría y la estructura del sedimento pueden afectar su capacidad para retener agua, nutrientes y contaminantes, así como la disponibilidad de oxígeno para los organismos acuáticos. El sedimento puede contener una variedad de contaminantes químicos, incluyendo metales pesados, hidrocarburos, pesticidas, fertilizantes y productos farmacéuticos. Estos contaminantes pueden provenir de fuentes industriales, agrícolas, urbanas o naturales, y representan riesgos para la salud humana y la vida acuática si son liberados al agua. (Chapman, 2022).

Además de los contaminantes químicos, el sedimento también puede albergar organismos patógenos, como bacterias, virus, parásitos y hongos, que pueden representar riesgos para la salud pública y la biodiversidad acuática. La calidad del sedimento puede influir en la biodiversidad y la abundancia de organismos bentónicos que viven en o sobre el fondo del cuerpo de agua. Estos organismos desempeñan funciones importantes en los

ciclos biogeoquímicos, la descomposición de materia orgánica y la transferencia de energía en los ecosistemas acuáticos. (Auquilla, 2020).

La evaluación de la calidad del sedimento se realiza mediante muestreos y análisis de muestras de sedimento para determinar la concentración de contaminantes químicos, la presencia de organismos indicadores de la salud del ecosistema y la textura y composición física del sedimento. Esta información se utiliza para identificar fuentes de contaminación, evaluar el riesgo para la salud humana y ambiental, y desarrollar estrategias de gestión y remediación para mejorar la calidad del sedimento y proteger la salud de los ecosistemas acuáticos. (Kransky, 2023).

#### **2.4.4 Monitoreo de la vegetación riparia.**

El monitoreo de la vegetación riparia, es decir, las plantas que crecen en las riberas de los ríos y otros cuerpos de agua, es fundamental para comprender y gestionar la salud de los ecosistemas acuáticos. Utilizando técnicas de teledetección, imágenes satelitales y sistemas de información geográfica (SIG), se pueden mapear y cartografiar los hábitats de la vegetación riparia a lo largo del tiempo para detectar cambios en la cobertura vegetal y la distribución de especies. (García, 2020).

Se establecen transectos y parcelas permanentes a lo largo de las riberas de los ríos para realizar observaciones y mediciones repetidas de la composición, estructura y densidad de la vegetación riparia. Se calculan índices de diversidad y abundancia de la vegetación riparia para evaluar la riqueza de especies, la equitabilidad y la estructura comunitaria de las plantas en diferentes hábitats riparios. (Flores, 2019).

Se estudia la regeneración natural de la vegetación riparia mediante la observación de plántulas, brotes y rebrotes para evaluar la capacidad de recuperación y regeneración de los hábitats riparios. La vegetación riparia puede servir como un indicador de la salud general del ecosistema acuático, ya que proporciona hábitats y alimentos para una variedad de organismos acuáticos y terrestres, estabiliza los bancos de los ríos, filtra los contaminantes y reduce la erosión. (Barceló, 2022).

El monitoreo de la vegetación riparia se puede combinar con el monitoreo de la calidad del agua para evaluar la relación entre la vegetación riparia y los parámetros físicos,

químicos y biológicos del agua. Se realiza un seguimiento de la presencia y el impacto de especies invasoras de plantas en las riberas de los ríos y se implementan medidas de control y erradicación cuando sea necesario. (Bere, 2022).

El monitoreo continuo de la vegetación riparia proporciona información valiosa para la gestión y conservación de los ecosistemas acuáticos, ayudando a identificar amenazas, evaluar la eficacia de las prácticas de restauración y conservación, y tomar decisiones informadas para proteger y mejorar la salud de los hábitats riparios y los cursos de agua asociados. (Aiuppa, 2023).

#### **2.4.5 Niveles de contaminantes.**

Los niveles de contaminantes en los cuerpos de agua, como ríos, lagos y océanos, pueden variar significativamente dependiendo de diversos factores, incluyendo la ubicación geográfica, las actividades humanas cercanas, las condiciones climáticas y las características del ecosistema. (Auquilla, 2020).

Incluyen elementos como plomo, mercurio, cadmio y arsénico, que pueden provenir de actividades industriales, minería, vertederos de desechos y emisiones atmosféricas. Estos metales pueden acumularse en los sedimentos y organismos acuáticos, causando toxicidad y bioacumulación en la cadena alimentaria. (Caballero, 2022).

Como nitrógeno y fósforo, que provienen principalmente de fuentes agrícolas (fertilizantes), aguas residuales urbanas y efluentes industriales. El exceso de nutrientes puede causar proliferación de algas y eutrofización, lo que agota el oxígeno en el agua y afecta negativamente la vida acuática. (García, 2020).

Incluyen productos químicos industriales, pesticidas, hidrocarburos y contaminantes emergentes como productos farmacéuticos y productos químicos de uso doméstico. Estos compuestos pueden ser liberados al agua a través de fugas, derrames, descargas industriales y aguas residuales no tratadas, y pueden tener efectos tóxicos en la vida acuática y la salud humana. (Leopold, 2022).

Tales como bacterias, virus, protozoos y helmintos, que pueden provenir de aguas residuales crudas, desechos animales, escorrentía agrícola y actividades recreativas. La contaminación microbiológica del agua puede causar enfermedades transmitidas por el

agua y representar riesgos para la salud pública. Como el uranio y el radio, que pueden encontrarse en aguas subterráneas y superficiales debido a actividades nucleares, minería de uranio y descargas de aguas residuales de instalaciones médicas e industriales. (Kransky, 2023).

El monitoreo de los niveles de contaminantes en los cuerpos de agua se lleva a cabo mediante muestreos regulares de agua y sedimentos, así como análisis químicos y biológicos para determinar la concentración y distribución de contaminantes. Esta información se utiliza para evaluar la calidad del agua, identificar fuentes de contaminación, establecer estándares de calidad del agua y tomar medidas para mitigar los impactos negativos en los ecosistemas acuáticos y la salud humana. (Bartram, 2020).

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1 Introducción**

En este capítulo se presentan todos los aspectos de metodología y procedimientos seguidos para la elaboración del trabajo de investigación sobre contaminantes inorgánicos en el río Maguaca, provincia Sánchez Ramírez, 2023-2024.

### **3.2 Diseño de Investigación**

El diseño de esta investigación es experimental y descriptiva. Los diseños experimentales se definen como aquellos que se manifiestan en situaciones o hechos reales en los que no se pueden formar grupos al azar, pero si se permite manipular la variable experimental, Hernández Sampieri (2006), Es descriptivo ya que permite conocer las propiedades de personas, grupos, o fenómenos que estén expuestos a análisis, Hernández Sampieri (2003).

### **3.3 Enfoque y tipo de investigación**

El enfoque de la investigación es experimental, este permite establecer relaciones causales, controlar variables externas, asignar participantes aleatoriamente, verificar resultados a través de la repetibilidad, evaluar intervenciones y tratamientos, y fomentar la innovación y el avance del conocimiento precisos y objetivos que pueden ser analizados de manera estadística y proporcionar una base sólida para la toma de decisiones y la implementación de medidas de control en la producción de banano. El enfoque de investigación experimental es una metodología que se basa en la recolección y análisis de datos este método de investigación que se basa en la manipulación y control de variables para determinar relaciones de causa y efecto. Los investigadores crean condiciones controladas en las que pueden observar y medir los efectos de cambiar una variable independiente sobre una variable dependiente, para responder preguntas de investigación y evaluar hipótesis.

### 3.4 Población y muestra

Esta investigación se desarrollará en el río Maguaca y para la toma de la muestra se procederá a extraerlas de distintas partes del río, específicamente en la parte media y baja del mismo.

Las muestras fueron recolectadas por el cliente, utilizando las directrices de la norma NORDOM 39.

#### a- Frascos utilizados

Se utilizaron dos tipos de frascos para recolectar las muestras según los lineamientos de la norma NORDOM 39 y de la OPS.

Estos frascos se colocan en una bolsa Ziploc por si ocurre un derrame el agua permanezca dentro de la bolsa y no se mezclen.

Cada frasco debe cumplir con condiciones diferentes y cada uno es destinado de acuerdo con el tipo de muestra que se requiere analizar.

Para este muestreo se utilizaron:

- 1-Plastico 1000 ml, Parámetros fisicoquímicos
- 2-Cristal color ámbar 1000 ml, parámetros orgánicos
- 3-Plasticos 125 ml, parámetros microbiológicos



*Foto 1.1-Kit de frascos para monitoreo utilizado por LAMENER.*

#### b- PRESERVANTES

Los preservantes se utilizan para conseguir que la muestra llegue al laboratorio con condiciones muy similares a las existentes en el punto de muestreo cuando se tomó la muestra.

En este monitoreo se utilizó los siguientes preservantes:

- 1- Ice Blue para mantener la temperatura
- 2- Hielo para mantener la temperatura

#### c- COOLER

Se utilizaron cooler de mano marca COLEMAN.

Las muestras fueron recibidas en las instalaciones de LAMENER con una temperatura de ambiente.

### **3.5 Métodos y Técnicas**

Para esta investigación se implementaran varias técnicas de análisis del agua realizaremos la técnica de la observación la cual consiste en captar por medio de la vista, en forma directa y sistemática cualquier hecho o situación en función de los objetivos de investigación, además se implementaran técnicas de análisis químicos del agua dentro de estas cabe destacar la técnica del diagrama de flujo de análisis de CO<sub>2</sub> esta nos certifica la presencia de dicho compuesto químico en el agua y de por si los posibles efectos que este cause en ella, técnicas de análisis título métricas haciendo uso del método de determinación este mide la alcalinidad total del agua es decir la capacidad del agua para neutralizar los ácidos y la DQO la cual tiene como finalidad medir o indicar la cantidad de materia orgánica e inorgánica presentes en el agua.

Para la preparación y análisis de estas muestras se utilizó los métodos Standards en su versión del año 2012.

Equipos utilizados para los análisis



Para el análisis fisicoquímico se utilizó el último espectrofotómetro de luz visible, el DR-900, etc.



Fotos 1.3 y 1.4- DR 3900 y DR 900 respectivamente.

Para el análisis bacteriológico se utilizaron los siguientes equipos:

- Incubadora marca Quincy.
- Baño de maría, marca *Presicion*.
- Contador de colonia, marca *Presicion*.
- Etc.

### 3.6 Instrumentos de investigación

Esta investigación se realizará con el apoyo de Tecca Caribe (ciclo integral del agua) el cual es un laboratorio encargado de examinar y determinar el tipo de tratamiento que requiere el agua en cuestión o que define el cumplimiento de los sistemas instalados.

AQM laboratorios( laboratorio de análisis de aguas potables y de consumo) este es un laboratorio de análisis de aguas acreditado por la norma ISO 17025 y la ISO 9001, el cual está incluido en el SINAC, el cual ha incorporado los últimos avances tecnológicos para el análisis del agua para cumplir con los requerimientos de la legislación de las aguas de consumo humano y aguas prepotables, este realiza todo tipo de análisis para cualquier tipo de agua.

Los equipos utilizados para estos análisis serán:

Para el análisis químico del agua se hará uso de aparatos como pH-metros, termómetros, equipos químicos de control y los medidores de conductividad del agua.

### **3.7 Validez y Confiabilidad**

Para garantizar la validez y confiabilidad de la investigación, se presentará un anteproyecto a un panel de jurados para que ofrezcan sus opiniones al respecto, además, las pruebas se realizarán en un laboratorio de reputación y prestigio comprobado y la toma de la muestra se realizará tomando todas las medidas necesarias para evitar que se contaminen.

### **3.8 Procedimientos**

Los procedimientos se pueden sintetizar en los siguientes pasos:

1. Selección del tema.
2. Elaboración del diseño del estudio. En esta ocasión se enlistaron las diferentes secciones de la investigación y se utilizó la técnica de “tormenta de ideas” para ir elaborando el problema, objetivos y las demás partes del estudio.
3. Elaboración del Marco Teórico.
4. Diseño de la metodología, selección de las técnicas de recogida de datos y elaboración de los instrumentos de investigación.
5. Recolección de datos
6. Análisis de datos y propuestas de conclusiones individuales.
7. Para la presentación del reporte.

### **3.9 Recolección de datos**

La recolección de datos se realizará una vez el laboratorio haga entrega de los resultados y estos serán presentados tal cual se han encontrado, es decir que no se van a manipular ni hacerlos variar.

### **3.10 Análisis de datos**

El análisis de datos se realizará a partir de los resultados obtenidos de las pruebas desarrolladas, estos datos serán verificados de forma objetiva y apegados a los mismos, a partir de ello se realizarán las conclusiones y recomendaciones de lugar.

**CAPÍTULO IV**  
**PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

**4.1 Introducción**

El presente capítulo muestra un análisis de los datos estadísticos, provenientes de la investigación realizada, cuyos resultados se presentan en las tablas de referencia simple y porcentual.

**4.2 Presentación de los resultados**

Tabla No. 1. Aspectos Organolépticos al instante del monitoreo.

| Parámetros/Estado | Aguas Superficiales Río Maguaca |
|-------------------|---------------------------------|
| Turbidez          | Media                           |
| Color             | Medio                           |
| Olor              | Bajo                            |
| Sólidos           | Bajos                           |

**Fuente: Análisis realizado por laboratorio Lamener, 2024.**

La Tabla No. 1 proporciona un análisis de los aspectos organolépticos de las aguas superficiales del río Maguaca al instante del monitoreo. Los aspectos organolépticos se refieren a las características perceptibles por los sentidos, como la vista, el olfato y el gusto.

La turbidez se refiere a la claridad del agua, que puede ser afectada por la presencia de partículas suspendidas como sedimentos, microorganismos o contaminantes. Un nivel de turbidez "media" sugiere que el agua tiene una cantidad moderada de partículas en suspensión, lo cual podría disminuir la penetración de la luz y afectar negativamente los ecosistemas acuáticos.

El color del agua puede estar influenciado por la presencia de materia orgánica, minerales, o contaminantes. Un color "medio" indica que el agua no es completamente clara, lo cual podría ser un indicativo de la presencia de materia orgánica en descomposición o de otras sustancias disueltas que alteran su color natural.

Un olor "bajo" sugiere que el agua tiene pocos o ningún olor perceptible, lo cual es generalmente un buen indicador en términos de calidad. La ausencia de olor puede indicar que no hay una alta concentración de sustancias orgánicas o inorgánicas en descomposición que suelen ser responsables de olores desagradables.

Este parámetro mide la cantidad de sólidos disueltos o suspendidos en el agua. Un nivel de sólidos "bajos" sugiere que el agua tiene una baja concentración de partículas sólidas, lo cual es positivo en términos de calidad del agua, ya que altos niveles de sólidos pueden afectar tanto la vida acuática como la potabilidad del agua.

Los valores reportados para los parámetros organolépticos del río Maguaca son moderados o bajos, lo cual indica que el agua no presenta una alta carga de contaminantes visibles o perceptibles al instante del monitoreo.

La turbidez y el color medio podrían señalar la presencia de partículas y materia orgánica, pero no en niveles alarmantes.

La baja concentración de sólidos y el olor bajo sugieren que la calidad del agua es razonablemente buena desde una perspectiva organoléptica, aunque los parámetros medidos no son suficientes para determinar la potabilidad o seguridad del agua para otros usos sin análisis adicionales.

Tabla No. 2: Resultados Fisicoquímicos Aguas Superficiales.

| Parámetros                                                                                                                                                        | Unidades                           | Río Maguaca<br>Punto 1 | Río<br>Maguaca<br>Punto 2 | Río<br>Maguaca<br>Punto 3 | Norma                | Método                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| <b>Localización</b>                                                                                                                                               |                                    |                        |                           |                           |                      |                                       |
| Hora                                                                                                                                                              | -                                  | 2:00 PM                | 2:00 PM                   | 2:00 PM                   | -                    | -                                     |
| Cobre                                                                                                                                                             | mg/litro                           | 0.17                   | 0.16                      | 0.17                      | 0.2                  | SM-3500-CU                            |
| Hierro                                                                                                                                                            | mg/litro                           | 1.19                   | 1.33                      | 2.05                      | 0.3                  | SM-3500-Fe                            |
| Sulfatos                                                                                                                                                          | mg/litro                           | 63                     | 57                        | 61                        | 400                  | SM-4500-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |
| <b>METODOLOGÍA:</b> Métodos adaptados desde Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, en su versión en inglés, (22 <sup>va</sup> ), año 2012. |                                    |                        |                           |                           |                      |                                       |
| Fecha Inicio<br>Análisis                                                                                                                                          | Hora Inicio Análisis:              |                        | Fecha Fin Análisis:       |                           | Hora Fin Análisis:   |                                       |
| 30-04-2024                                                                                                                                                        | 4:30 PM                            |                        | 7-05-2024                 |                           | 5:30 PM              |                                       |
| Fecha<br>Recepción                                                                                                                                                | Recibido en el laboratorio<br>por: |                        | Analista                  |                           | Revisado:            |                                       |
| 30-04-2024                                                                                                                                                        | Ing. Emily Scotti                  |                        | Ing. Francisco Bona       |                           | Ing. Harvey Espinosa |                                       |

**Fuente: Análisis realizado por laboratorio Lamener, 2024.**

La tabla No. 2, muestra los resultados fisicoquímicos de las aguas superficiales del río Maguaca en tres puntos de muestreo diferentes, evaluando concentraciones de cobre, hierro y sulfatos.

### Análisis de los Parámetros Medidos:

Los valores de cobre en los tres puntos están por debajo del límite establecido por la norma (0.2 mg/L). Esto sugiere que, aunque presente, la concentración de cobre en estas muestras de agua superficial no supera el límite permitido, por lo que no representa un riesgo significativo según este parámetro.

Todos los valores de hierro en los puntos muestreados superan significativamente el límite establecido por la norma (0.3 mg/L). El punto 3 presenta la concentración más alta (2.05 mg/L). Estos niveles elevados indican una posible contaminación por hierro, lo que podría afectar la calidad del agua y representar un riesgo para la vida acuática y el consumo humano si no se trata adecuadamente.

Las concentraciones de sulfatos en los tres puntos son considerablemente más bajas que el límite máximo permitido (400 mg/L). Esto indica que, al menos en cuanto a sulfatos, el río Maguaca no presenta problemas de contaminación en los puntos evaluados.

La presencia de cobre en niveles por debajo del límite permitido es positiva, ya que no parece representar un riesgo de contaminación significativo en los puntos evaluados del río Maguaca.

La alta concentración de hierro es preocupante, ya que excede el límite normativo en todos los puntos. Esto podría ser indicativo de fuentes de contaminación industrial o agrícola, o de procesos naturales que estén liberando hierro en el agua. Es necesario investigar más para determinar la fuente exacta y las posibles soluciones para mitigar este problema.

Los niveles de sulfatos están bien por debajo de los límites normativos, lo cual es un buen indicador de que no hay una fuente significativa de contaminación por este compuesto en el río en los puntos evaluados.

El análisis de los resultados fisicoquímicos del río Maguaca revela que, mientras los niveles de cobre y sulfatos están dentro de los límites permitidos y no representan un problema ambiental inmediato, los niveles de hierro son alarmantemente altos. Este exceso de hierro podría tener efectos negativos en la salud humana, la vida acuática y los usos recreativos del agua. Se recomienda realizar investigaciones adicionales para identificar las fuentes de contaminación por hierro y desarrollar estrategias de mitigación.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1 Introducción**

En esta sección se presentan los resultados obtenidos de la investigación cuyo objetivo general ha sido Caracterizar los contaminantes inorgánicos que se encuentran en el río Maguaca en la provincia Sánchez Ramírez, Cotuí. Además, se presenta el análisis de datos, las conclusiones y recomendaciones.

#### **5.2 Análisis de los datos**

**Según el objetivo No. 1. Identificar las principales fuentes de contaminación inorgánica en el río Maguaca:**

Los niveles elevados de hierro en todos los puntos muestreados (1.19-2.05 mg/L) superan significativamente el límite normativo de 0.3 mg/L. Esto sugiere una fuente de contaminación inorgánica importante. Las posibles fuentes incluyen actividades industriales, agrícolas o procesos naturales, como la erosión de suelos ricos en hierro o la lixiviación de minerales en el área. La concentración más alta se registró en el punto 3 (2.05 mg/L), lo que podría indicar una fuente localizada en esa área específica.

Aunque las concentraciones de cobre están por debajo del límite permitido (0.16-0.17 mg/L frente al límite de 0.2 mg/L), su presencia en el agua indica la posibilidad de actividades industriales o agrícolas que estén contribuyendo a su presencia en el río, aunque en niveles no alarmantes.

Las concentraciones de sulfatos están bien por debajo del límite permitido (57-63 mg/L frente al límite de 400 mg/L). Esto sugiere que, al menos en cuanto a sulfatos, no hay una fuente significativa de contaminación inorgánica en los puntos evaluados del río.

La principal preocupación en cuanto a contaminación inorgánica en el río Maguaca es el hierro, cuya fuente debe investigarse a fondo. El cobre, aunque presente, no representa un riesgo significativo según los datos actuales. Los sulfatos no parecen ser una fuente de preocupación.

**Según el objetivo No. 2. Determinar los niveles de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos presentes en diferentes puntos del río:**

El nivel de hierro es el contaminante más preocupante, con concentraciones muy superiores a las normativas en todos los puntos. Esto indica una fuerte presencia de hierro en el río, que podría deberse a la erosión de suelos, drenajes ácidos de minas, o actividades industriales.

Aunque presente en todos los puntos, el cobre se mantiene por debajo de los niveles máximos permitidos, lo cual es un buen indicativo de que este metal pesado no representa una amenaza inmediata en los puntos evaluados.

Los niveles de sulfatos están considerablemente por debajo del límite normativo, sugiriendo que no hay una fuente significativa de contaminación por sulfatos en el río.

El hierro es el contaminante inorgánico más crítico identificado, con niveles que exceden ampliamente los límites normativos, mientras que el cobre y los sulfatos se encuentran dentro de los límites seguros.

**Según el objetivo No. 3. Proponer medidas de mitigación y estrategias de manejo sostenible para reducir la contaminación inorgánica:**

Es esencial establecer un programa de monitoreo continuo para seguir evaluando los niveles de hierro, cobre y otros posibles contaminantes en el río. Esto ayudará a identificar cambios en las concentraciones y posibles fuentes emergentes de contaminación. Se debe realizar una investigación más detallada para identificar la fuente o fuentes exactas de la alta concentración de hierro. Esto podría incluir estudios geológicos, revisión de actividades industriales en la zona, y análisis de suelos.

Una vez identificadas las fuentes de hierro, se deben implementar medidas para reducir su liberación al río, como la instalación de barreras de contención, mejora de prácticas agrícolas o industriales, y restauración de áreas afectadas. Implementar programas de educación y sensibilización dirigidos a las comunidades locales y a los sectores

industriales y agrícolas para promover prácticas sostenibles y minimizar la contaminación. En áreas donde la contaminación ha afectado los ecosistemas acuáticos, se deben implementar proyectos de restauración para rehabilitar la calidad del agua y proteger la vida acuática.

Las medidas de mitigación deben centrarse en identificar y controlar las fuentes de hierro, mejorar el monitoreo y educar a las comunidades locales sobre la importancia de mantener la calidad del agua en el río Maguaca.

### **5.3 Conclusiones**

#### **Identificación de las principales fuentes de contaminación inorgánica en el río Maguaca:**

El análisis de los datos revela que el hierro es el contaminante inorgánico más significativo en el río Maguaca, con niveles que superan ampliamente los límites normativos en todos los puntos de muestreo (1.19-2.05 mg/L frente al límite de 0.3 mg/L). Este hallazgo sugiere la existencia de una fuente importante de contaminación por hierro, que podría estar relacionada con diversas actividades, como procesos industriales, agrícolas, o incluso naturales, tales como la erosión de suelos ricos en hierro o la lixiviación de minerales en la zona. La concentración más elevada de hierro, registrada en el punto 3, indica la posibilidad de una fuente localizada en esa área específica, lo que merece una investigación más detallada para su identificación precisa.

En contraste, las concentraciones de cobre, aunque detectadas, se mantienen por debajo del límite normativo (0.16-0.17 mg/L frente al límite de 0.2 mg/L). Esto sugiere que, aunque el cobre podría estar presente debido a actividades industriales o agrícolas, no representa un riesgo significativo en los puntos evaluados del río. De igual manera, los niveles de sulfatos están considerablemente por debajo del límite permitido (57-63 mg/L frente al límite de 400 mg/L), lo que indica que no hay una fuente significativa de contaminación por sulfatos en las áreas muestreadas del río.

### **Determinación de los niveles de metales pesados y otros contaminantes inorgánicos en el río Maguaca:**

La concentración de hierro en el río Maguaca es alarmantemente alta y constituye el contaminante inorgánico más crítico identificado en esta investigación. Su presencia en niveles muy superiores a los normativos en todos los puntos de muestreo sugiere una fuerte contaminación que podría estar relacionada con la erosión de suelos, actividades industriales o la influencia de drenajes ácidos de minas. Este hallazgo es de particular preocupación, ya que niveles tan altos de hierro pueden tener efectos negativos sobre la salud humana, la vida acuática y los usos recreativos del agua.

Por otro lado, los niveles de cobre, aunque presentes, se encuentran dentro de los límites permitidos, lo que indica que este metal pesado no representa una amenaza inmediata en los puntos evaluados. De manera similar, los niveles de sulfatos son bajos y están dentro de los límites normativos, lo que sugiere que no hay una fuente significativa de contaminación por sulfatos en el río.

### **Propuesta de medidas de mitigación y estrategias de manejo sostenible:**

Para abordar la problemática identificada, es fundamental establecer un programa de monitoreo continuo que permita evaluar de manera regular los niveles de hierro, cobre y otros contaminantes inorgánicos en el río Maguaca. Esto no solo facilitará la detección temprana de cambios en las concentraciones, sino que también ayudará a identificar nuevas fuentes de contaminación a medida que surjan.

Además, se requiere una investigación más detallada para identificar las fuentes exactas de la alta concentración de hierro. Esta investigación podría incluir estudios geológicos para entender la composición del suelo, así como una revisión exhaustiva de las actividades industriales y agrícolas en la región que puedan estar contribuyendo a la contaminación. Una vez identificadas estas fuentes, se deben implementar medidas concretas para reducir la liberación de hierro al río. Estas medidas podrían incluir la

instalación de barreras de contención, la mejora de las prácticas industriales y agrícolas, y la restauración de áreas afectadas por la contaminación.

Es igualmente importante implementar programas de educación y sensibilización dirigidos a las comunidades locales, así como a los sectores industriales y agrícolas, para promover prácticas sostenibles que minimicen la contaminación. Por último, en áreas donde la contaminación ha afectado los ecosistemas acuáticos, es necesario desarrollar proyectos de restauración para rehabilitar la calidad del agua y proteger la vida acuática en el río Maguaca.

Las medidas de mitigación deben centrarse en la identificación y control de las fuentes de hierro, la mejora del monitoreo y la educación de las comunidades locales sobre la importancia de mantener la calidad del agua en el río Maguaca para garantizar la sostenibilidad ambiental a largo plazo.

#### **5.4 Recomendaciones**

##### **Al Ministerio de Medio Ambiente:**

Se recomienda la implementación de un programa de monitoreo ambiental continuo en el río Maguaca para evaluar periódicamente los niveles de hierro, cobre, y otros contaminantes inorgánicos. Este programa debe incluir la instalación de estaciones de monitoreo en puntos críticos, como el identificado en el punto 3, donde se registró la mayor concentración de hierro. Además, es esencial que el Ministerio realice inspecciones regulares en las actividades industriales y agrícolas circundantes para asegurar que cumplan con las normativas ambientales vigentes y minimizar su impacto en la calidad del agua.

Es crucial llevar a cabo estudios detallados para identificar las fuentes exactas de la alta concentración de hierro en el río. Basado en estos estudios, se deben diseñar y aplicar medidas de control, como la restauración de áreas erosionadas, la gestión adecuada de residuos industriales y agrícolas, y la regulación estricta del uso de suelos ricos en minerales que puedan contribuir a la contaminación del río.

El Ministerio debe lanzar campañas de educación ambiental dirigidas tanto a la población en general como a las industrias y agricultores locales. Estas campañas deben enfocarse en la importancia de proteger los recursos hídricos y en la adopción de prácticas sostenibles que reduzcan la contaminación.

#### **Al Ayuntamiento Municipal de Cotuí:**

Se recomienda que el Ayuntamiento colabore con el Ministerio de Medio Ambiente para implementar proyectos de infraestructura verde en las áreas circundantes al río Maguaca. Esto incluye la creación de barreras naturales y la revegetación de las riberas del río para reducir la erosión del suelo y, por ende, la entrada de hierro al agua.

Es fundamental mejorar la gestión de residuos sólidos en el municipio para evitar la lixiviación de contaminantes inorgánicos en el río. Esto incluye la instalación de sistemas adecuados de recolección y tratamiento de desechos y la educación de la población sobre la disposición correcta de residuos.

El Ayuntamiento debe fomentar la participación de la comunidad en la protección del río Maguaca, organizando talleres, jornadas de limpieza del río y creando un consejo comunitario de gestión ambiental que supervise y promueva acciones para mantener la calidad del agua.

#### **A las ONGs:**

Las ONGs pueden jugar un papel clave en apoyar al Ministerio de Medio Ambiente y al Ayuntamiento en el monitoreo continuo de la calidad del agua del río Maguaca. Esto incluye la formación de alianzas con universidades y centros de investigación para llevar a cabo estudios más detallados y contribuir con datos actualizados.

Se recomienda que las ONGs diseñen y ejecuten programas de sensibilización ambiental dirigidos a las comunidades locales, resaltando la importancia de proteger el río y los peligros asociados con la contaminación por metales pesados, especialmente el hierro.

Las ONGs deben trabajar con agricultores e industrias locales para promover prácticas sostenibles que reduzcan el impacto ambiental, como el uso de técnicas agrícolas menos intensivas y la implementación de tecnologías de tratamiento de efluentes.

#### **A la Academia de Ciencias:**

Se recomienda que la Academia de Ciencias priorice la investigación sobre la contaminación inorgánica en cuerpos de agua como el río Maguaca. Esto incluye estudios sobre la movilidad y origen del hierro, así como la identificación de tecnologías innovadoras para la remediación del agua.

La Academia debe organizar seminarios, conferencias y cursos de capacitación dirigidos a técnicos, estudiantes y profesionales del área ambiental, enfocados en la gestión de la contaminación inorgánica y la protección de los recursos hídricos.

Es fundamental que la Academia de Ciencias colabore con el Ministerio de Medio Ambiente, el Ayuntamiento y las ONGs en la implementación de proyectos de investigación aplicada que ofrezcan soluciones concretas y efectivas para la reducción de la contaminación en el río Maguaca.

#### **A la Población en General:**

Se insta a la población a involucrarse activamente en la protección del río Maguaca, participando en actividades de limpieza y conservación del río, y reportando cualquier actividad sospechosa que pueda estar contaminando el agua.

Es importante que los habitantes de Cotuí adopten prácticas diarias que contribuyan a la protección del río, como la correcta disposición de residuos, la reducción del uso de productos químicos contaminantes, y el uso racional del agua.

La población debe mantenerse informada sobre los efectos de la contaminación del agua en la salud y el medio ambiente, y transmitir esta conciencia a las futuras generaciones, asegurando un manejo sostenible de los recursos hídricos locales.

## Referencias

- Aiuppa, A. (2023). Natural and anthropogenic factors affecting groundwater quality of an active volcano (Mt. Etna, Italy). *Applied Geochemistry* 18 , 863–882.
- Albert A. (2017). *Introduccion a la Toxicologia Ambiental*. Mexico: OPS.
- Allan, I. (2017). Modelling of Pollutant Fate and Behaviour in Bed Sediments. *Elsevier B. V.*, 263-294.
- Allan, J. (2020). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Secaucus: Springer.
- Aquilla, R. C. (2020). *Uso del suelo y calidad del agua en quebradas de fincas con sistemas silvopastoriles en la Subcuenca del Río Jabonal, Costa Rica*. Turrialba, CR.: CATIE. Magister Scientiae en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas.
- Ayers, R. (2024). *Calidad del agua para la agricultura*. FAO. ROMA: FAO, 29.
- Barceló, I. (2022). Determinación del estado de equilibrio de un sistema hídrico. *Revista de la Sociedad Química de México*, 46(2), 93-104.
- Bartram, J. (2020). *Water Quality Monitoring: A practical Guide to the Design of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes*. Londres: Chapman Hill.
- Bere, T. (2022). The assessment of nutrient loading and retention in the upper segment of the Chinyika River, Harare: implications for eutrophication control. *Water SA*, vol. 33, no. 2,, 279-284.
- Bermúdez, M. (2020). *Contaminacion y turismo sostenible*. España: CETD SA.
- Biggs, B. J. (2020). Patterns in benthic algae of streams. En R. J. Stevenson, *Algal ecology of freshwater benthic ecosystem*, (págs. 31-56). Boston: Aquatic Ecology Series. Academic Press.
- Boháček, Z. (2023). Characteristics of organic matter and contents of some ubiquitous hydrophobic organic. *Bulletin of Geosciences*, Vol. 78, No. 3, 179– 204.
- Brettum, P. (2021). The use of phytoplankton as indicators of water quality. *NIVA report SNO 4818-2004*, Suppl.

- Briemberg, J. (2024). *Investigation of pesticide contamination of groundwater sources urban water distribution systems in the pacific region of Nicaragua*. Managua: INAA.
- Caballero, A. (2022). *Potencial hidrológico y calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río ochomogo*. Managua: Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN).
- Chapman, D. (2022). *Water Quality Assessments. A Guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Gran Bretaña : UNESCO. 565 p.
- Costarricense* 32 (1), 113-123.
- De Nicola, D. (2016). Periphyton responses to Temperature at Different Ecological Levels. En B. M. Stevenson RJ, *Algal ecology: freshwater benthic ecosystems* (págs. 150-181). San Diego: Academic Press.
- Dec. No. 42-05. (s.f.). *Dec. No. 42-05 que establece el Reglamento de Aguas para Consumo Humano*. Santo Domingo, DN: Poder Ejecutivo. Obtenido de <https://repositorio.msp.gob.do/handle/123456789/1187?show=full>
- E.A. (2023). The river ecosystem classification system. *Environment Agency, U.K.*
- Elosegi, A. (2021). El río como ecosistema. En J. C. SERGI SABATER, *Conceptos y técnicas en ecología fluvial* (pág. Separata del capítulo 2). País Vasco: Fundación BBVA.
- En el artículo de Almonte (2022) titulado “*Data on the concentration of heavy metals and metalloids in lotic water of the Mantaro river watershed and human risk assessment, Peru – 2022*”,
- En la tesis de Manzueta (2022) titulada “*Evaluación espacio-temporal de metales pesados del recurso hídrico superficial de la microcuenca del Río Tinco, Provincia Yauyos, Departamento Lima*”.
- FAO. (2023). *Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines. Informes sobre temas hídricos 1*. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

- Fernández, J. (2022). Estudio de la Calidad Ambiental de los Sedimentos de la Bahía de Cádiz y Algeciras mediante un método integrado. Sevilla, España: Universidad de Sevilla. Escuela Superior de Ingenieros. Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental.
- Ferreira, A. (2022). En *Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Flores, F. (2019). *Tema 4 Contaminacion del Agua*. Obtenido de [https://www.ugr.es › ~fgarciac › pdf\\_color](https://www.ugr.es/~fgarciac/pdf_color)
- Garcia, M. (2020). Origen y Propiedades de los Sedimentos. En *Manual de Ingeniería de Ríos* (pág. Capítulo 7). Mexico: División de Estudios de Postgrado, facultad de Ingeniería, UNAM.
- Gonzales, J. L. (2020). *Proyecto de tesis guía para la elaboración* (Vol. 1). Perú. doi: ISBN: 978-612-0054161
- Guerrero, M. (2022) “*Análisis espacio-temporal del índice de la calidad ambiental de los recursos hídricos superficiales (ICARHS) en puntos de control del río San Gabán-Carabaya-Puno-2022*”.
- Hernández, O. (2021). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. . Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/W2598S00.htm>
- Hernández-Sampieri, R. (2013). Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. En R. Hernández-Sampieri, *Hernández-Sampieri, Roberto* (pág. 6). Ciudad de México: McGraw HILL.
- Hernández-Sampieri, R., Mendoza Torre, C., Leavy, & Wentz. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: McGRAW-HILL. doi:ISBN: 978-145626096-5
- <http://www.rekursoshidricos.gov.ar/web/index.php/nuestra-funcion/2017-03-23-141206/calidad-de-agua>
- [https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15060/1/2019analisis\\_fisico\\_quimico\\_queb\\_rada.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/15060/1/2019analisis_fisico_quimico_queb_rada.pdf)
- Kransky, J. (2023). Estudio Hidrogeológico e Hidroquímico de la Región del Pacífico de Nicaragua. Dirección de Recursos Hídricos, Dirección de Hidrogeología. *INETER*.
- Mateo, L. (2022), “*Evaluación de la calidad del agua y vertimiento de efluentes industriales en la sub-cuenca del río San Juan, 2022, Cerro de Pasco*”,

- La tesis de Ortega (2022) titulada, “*Cumplimiento de la normatividad ambiental por el sector minero metalúrgico y su impacto ambiental en el río Mantaro - Región Junín*”,
- Leopold, L. (2022). *Fluvial processes in geomorphology*. New York: Dover.
- Martínez, J. (2022) “*Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del río Monjas, sectores Pomasqui y San Antonio de Pichincha mediante ICANSF*”.
- Masís, F. (2021). Residuos de agroquímicos en sedimentos de ríos, Poás, Costa Rica. *Agronomía*
- Mejía, F. (2018) “*Análisis espacio-temporal de la calidad del agua del río Magdalena (período 2009-2018) a partir de la comparación de índices de calidad del agua*”.
- Mena, E. (2021) “*Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río San Pedro en el estado de Aguascalientes, México*”.
- Mena, J. (2022). Dinámica del carbono orgánico disuelto y particulado asociados al florecimiento de *Nodularia spumigena* en un lago tropical oligotrófico. *Estado actual del Conocimiento del Ciclo del Carbono y sus interacciones en México*, 404-411.
- OMS. (2018). *Guías de la OMS para la calidad del agua de consumo humano*. Ginebra.
- Ortega, J. (2022). *Caracterización metálica de los sedimentos de las cuencas de los ríos Tinto y Odiel (Tesis Doctoral)*. Sevilla: Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad de Sevilla.
- Otáñez, M. (2022). *Manual de campo de Proyecto del Río: una guía para monitorear la calidad del agua en el Río Bravo*. New México: Proyecto del Río.
- Posada, R. (2021), “*Evaluación espacio-temporal de la calidad del agua del río Rímac (riego), de enero a agosto del 2021, en tres puntos de monitoreo*”. Tiene por finalidad analizar la calidad espacial y temporal del agua para riego
- Rosario, P. (2023). *Evaluación del Impacto de la Calidad de Agua del lago Xolotlán sobre el río Tipitapa y el área inmediata en el lago Cocibolca (Estación lluviosa, Diciembre 2020 y Estación seca, Abril 2021)*. Managua: CIRA/UNANManagua.
- Ruiz, R. (2022). *Tecno soluciones*. Obtenido de Tecno soluciones:  
<https://tecnosolucionescr.net/blog/215-caracteristicas-fisicos-quimicas-y-biologicas-en-el->
- Santana, M. (2021). Compuestos. En López, *Compuestos Inorgánicos*.

Santos, P. (2020) *“Análisis espacio-temporal de la calidad del agua a partir de las comunidades de diatomeas presentes en la quebrada Las Delicias de los cerros orientales de Bogotá”*.

Veloz, S. (2022) *“Evaluación espacio-temporal de la calidad de las aguas en la Cuenca Hidrográfica Guaos-Gascón”*.

## **Anexos**

Anexo No. 1. Resultado de análisis realizados en laboratorio Lamener.

VI- RESULTADOS

| Parámetros / Localización                                                                                                                                  | Unidades                        | Río Maguaca<br>Punto 1 | Río Maguaca<br>Punto 2 | Río Maguaca<br>Punto 3 | Norma | Métodos                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------|---------------------------|
| Hora                                                                                                                                                       | -                               | 2:00 PM                | 2:00 PM                | 2:00 PM                | -     | -                         |
| Cobre                                                                                                                                                      | mg/litro                        | 0.17                   | 0.16                   | 0.17                   | 0.2   | SM-3500-CU                |
| Hierro                                                                                                                                                     | mg/litro                        | 1.19                   | 1.33                   | 2.05                   | 0.3   | SM-3500-Fe                |
| Sulfatos                                                                                                                                                   | mg/litro                        | 63                     | 57                     | 61                     | 400   | SM-4500-SO4 <sup>4-</sup> |
| METODOLOGIA: Métodos adaptados desde Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, en su versión en Inglés, (22 <sup>da</sup> ), año 2012. |                                 |                        |                        |                        |       |                           |
| Fecha Inicio Análisis:                                                                                                                                     | Hora Inicio Análisis:           | Fecha Fin Análisis:    |                        | Hora Fin Análisis:     |       |                           |
| 30/4/2024                                                                                                                                                  | 4:30 PM                         | 7/5/2024               |                        | 5:30 PM                |       |                           |
| Fecha Recepción:                                                                                                                                           | Recibido en el laboratorio por: | Analista:              |                        | Revisado:              |       |                           |
| 30/4/2024                                                                                                                                                  | Ing. Emilly Scotti              | Ing. Francisco Bona    |                        | Ing. Harvey Espinosa   |       |                           |

Tabla 1.2.- Resultados Fisicoquímicos Aguas Superficiales.