



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES
PESADOS DEL RÍO CUCHIPAMBA, MORONA SANTIAGO**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: MEIBELLINE ALEXANDRA BRITO TUCTO

DIRECTOR: Ing. PATRICIO VLADIMIR MÉNDEZ ZAMBRANO Mg.

Macas - Ecuador

2022

2022, Meibelline Alexandra Brito Tucto

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, MEIBELLINE ALEXANDRA BRITO TUCTO declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 08 de junio de 2022

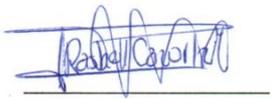
A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature is stylized and appears to read 'Meibelline Brito Tucto'.

Meibelline Alexandra Brito Tucto

140087722-9

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: el Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico: **EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS DEL RÍO CUCHIPAMBA, MORONA SANTIAGO**, realizado por la señorita **MEIBELLINE ALEXANDRA BRITO TUCTO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

| | FIRMA | FECHA |
|---|--|----------------|
| Ing. William Estuardo Carrillo Barahona MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  | 2022 – 06 – 08 |
| Ing. Patricio Vladimir Méndez Zambrano Mg. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR |  | 2022 – 06 – 08 |
| Ing. Ximena Rashell Cazorla Vinueza Mgs. MIEMBRO DEL TRIBUNAL |  | 2022 – 06 – 08 |

DEDICATORIA

A Dios, por darme unos buenos padres Fernando y Janneth que siempre me han brindado su amor, apoyo y confianza en mi formación personal y profesional; a mi abuela Aida por el apoyo brindado todos los días de mi vida; a mis hermanos Lesli, Ronald y Aidelyn por brindarme su apoyo incondicional para seguir adelante y a mi sobrina Maybelline que llegó a alegrar mis días con su amor puro y sincero, y me ha dado las fuerzas para seguir adelante.

Meibelline

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero expresar mi agradecimiento a Dios por darme la sabiduría y guiarme en cada etapa de mi vida, de igual manera a todas las personas involucradas en el desarrollo del presente trabajo, especialmente a mi madre que me acompañó desde el inicio hasta la culminación del trabajo. A mi tutor Mgs Christian Camacho por su apoyo, paciencia y guía en todo el desarrollo de mi trabajo de titulación.

Meibelline

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|-------------------------|------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | ix |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS..... | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xii |
| RESUMEN..... | xiii |
| ABSTRACT..... | xiv |
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |

CAPÍTULO I

| | |
|--|---|
| 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA | 3 |
| 1.1. Planteamiento del problema | 3 |
| 1.2. Objetivos | 4 |
| 1.2.1. Objetivo General | 4 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 4 |

CAPÍTULO II

| | |
|--|---|
| 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS | 5 |
| 2.1. Antecedentes | 5 |
| 2.2. Bases conceptuales | 6 |
| 2.2.1. <i>Evaluación</i> | 6 |
| 2.2.2. <i>Contaminación</i> | 6 |
| 2.2.3. <i>Metales pesados</i> | 6 |
| 2.2.4. <i>Río</i> | 6 |
| 2.2.5. <i>Agua</i> | 6 |
| 2.2.6. <i>Monitoreo</i> | 7 |
| 2.2.7. <i>Muestreo</i> | 7 |
| 2.2.8. <i>Concentraciones</i> | 7 |
| 2.2.9. <i>Arsénico</i> | 7 |
| 2.2.10. <i>Mercurio</i> | 7 |
| 2.2.11. <i>Plomo</i> | 8 |
| 2.2.12. <i>Potencial de hidrógeno (pH)</i> | 8 |

| | | |
|-----------------|--|----|
| 2.3. | Bases teóricas | 8 |
| 2.3.1. | Contaminación del agua | 8 |
| 2.3.1.1. | <i>Principales contaminantes del agua</i> | 8 |
| 2.3.2. | Metales pesados | 9 |
| 2.3.2.1. | <i>Oligoelementos</i> | 10 |
| 2.3.2.2. | <i>Metales pesados sin función biológica conocida.</i> | 10 |
| 2.3.3. | Métodos de detección de metales pesados | 11 |
| 2.3.3.1. | <i>Espectroscopía de absorción atómica</i> | 11 |
| 2.3.3.2. | <i>Espectroscopía de emisión atómica</i> | 11 |
| 2.3.3.3. | <i>Fluorescencia de rayos x</i> | 11 |
| 2.3.3.4. | <i>Voltamperimetría de redisolución anódica</i> | 12 |
| 2.3.4. | Metales pesados en la salud y ecosistema | 12 |
| 2.3.4.1. | <i>Efectos de los metales pesados</i> | 12 |
| 2.3.5. | Muestreo | 13 |
| 2.3.5.1. | <i>Muestreo probabilístico</i> | 13 |
| 2.3.5.2. | <i>Muestreo no probabilísticos</i> | 13 |
| 2.4. | Marco legal | 13 |
| 2.4.1. | Buen vivir | 13 |
| 2.4.2. | Recurso agua | 13 |
| 2.4.3. | Competencias | 14 |

CAPÍTULO III

| | | |
|---------------|--|----|
| 3. | MARCO METODOLÓGICO | 15 |
| 3.1. | Marco metodológico | 15 |
| 3.2. | Tipo de investigación | 15 |
| 3.3. | Área de estudio | 15 |
| 3.4. | Identificación de los puntos de monitoreo | 16 |
| 3.5. | Equipos y Materiales | 17 |
| 3.5.1. | <i>Equipos, instrumentos y reactivos para monitoreo y análisis de muestras</i> | 17 |
| 3.6. | Monitoreo y toma de muestras de parámetros fisicoquímicos | 18 |
| 3.7. | Manejo y conservación de muestras | 19 |
| 3.8. | Análisis de metales pesados | 19 |
| 3.9. | Comparación de datos | 21 |
| 3.9.1. | <i>Mapas de contaminación</i> | 21 |
| 3.9.2. | <i>Variación de datos</i> | 21 |

| | | |
|--------|----------------------------------|----|
| 3.9.3. | <i>Normativa aplicable</i> | 21 |
|--------|----------------------------------|----|

CAPÍTULO IV

| | | |
|----------|---|----|
| 4. | RESULTADOS | 22 |
| 4.1. | Descripción de los puntos de monitoreo | 22 |
| 4.1.1. | <i>PM-1 El Guabi</i> | 22 |
| 4.1.2. | <i>PM-2 El Guabi Bajo</i> | 22 |
| 4.1.3. | <i>PM-3 Área de pétreos</i> | 23 |
| 4.1.4. | <i>PM-4 La unión</i> | 24 |
| 4.2. | Mapas de contaminación | 24 |
| 4.2.1. | <i>Mapa de contaminación con plomo en el mes de noviembre</i> | 25 |
| 4.2.2. | <i>Mapa de contaminación con plomo en el mes de diciembre</i> | 26 |
| 4.2.3. | <i>Mapa de contaminación con plomo en el mes de enero</i> | 27 |
| 4.3. | Análisis de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados | 28 |
| 4.3.1. | <i>Potencial de hidrógeno (pH)</i> | 28 |
| 4.3.2. | <i>Concentración de metales pesados en las muestras de agua</i> | 29 |
| 4.3.2.1. | <i>Concentración de arsénico (As) en las muestras de agua (mg/L)</i> | 29 |
| 4.3.2.2. | <i>Concentración de mercurio (Hg) en las muestras de agua (mg/L)</i> | 30 |
| 4.3.2.3. | <i>Concentración de plomo (Pb) en las muestras de agua (mg/L)</i> | 31 |
| 4.4. | Comparación de la concentración de metales pesados en el agua con la normativa legal vigente | 32 |
| | CONCLUSIONES | 33 |
| | RECOMENDACIONES | 34 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------------|---|----|
| Tabla 1-3: | Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo..... | 17 |
| Tabla 2-3: | Equipos, instrumentos y reactivos | 17 |
| Tabla 3-3: | Monitoreo y toma de muestras | 19 |
| Tabla 4-3: | Procedimiento de análisis de metales pesados | 20 |
| Tabla 1-4: | Comparación de la concentración de pH y metales pesados | 32 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | | |
|---------------------|---|----|
| Gráfico 1-4: | Variación del potencial de hidrógeno..... | 28 |
| Gráfico 2-4: | Variación de la concentración de arsénico | 29 |
| Gráfico 3-4: | Variación de la concentración de mercurio | 30 |
| Gráfico 4-4: | Variación de la concentración de plomo | 31 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Figura 1-3: | Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo | 16 |
| Figura 1-4: | Punto de monitoreo PM-01 | 22 |
| Figura 2-4: | Punto de monitoreo PM-02 | 23 |
| Figura 3-4: | Punto de monitoreo PM-03 | 23 |
| Figura 4-4: | Punto de monitoreo PM-04 | 24 |
| Figura 5-4: | Mapa de concentración de plomo en noviembre | 25 |
| Figura 6-4: | Mapa de concentración de plomo en diciembre..... | 26 |
| Figura 7-4: | Mapa de concentración de plomo en enero..... | 27 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ETIQUETA DE LAS MUESTRAS

ANEXO B: CONSERVACIÓN DE MUESTRAS

ANEXO C: TOMA DE MUESTRAS

ANEXO D: TABLA 2 DEL ACUERDO MINISTERIAL 097-A

ANEXO E: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ARSÉNICO

ANEXO F: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE PLOMO

ANEXO G: CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba, ubicado en la parroquia El Ideal, cantón Gualaquiza, provincia de Morona Santiago, mediante análisis fisicoquímico del agua. El enfoque fue cuali-cuantitativo, pues se calificó el estado actual del agua por medio de datos obtenidos. La investigación fue de campo y documental, puesto que se obtuvo datos en cuatro puntos en el tramo del río y se realizó revisión bibliográfica. Para ellos se identificó el área de estudio y con ayuda del *software ArcGIS*, se generó el mapa de ubicación identificando cuatro puntos de muestreo. De cada punto se obtuvo datos de parámetros in situ y ex situ, se ejecutó los análisis en laboratorio de las concentraciones de los metales arsénico, mercurio y plomo. Una vez obtenido los datos de los análisis fisicoquímicos, se comparó los resultados con los límites permisibles que establece la normativa ambiental legal vigente en el Ecuador. También se generó mapas de contaminación de acuerdo al metal que excedía el límite permisible con ayuda del *software ArcGIS*. Como resultado, se encontró contaminación por plomo en el río Cuchipamba en el PM-04 durante los meses de noviembre, diciembre y enero, excediendo la concentración de 0,001 mg/l como establece la normativa legal vigente. Se concluye que, si existe contaminación por metales pesados debido a que el plomo presentó valores altos de 0,004 hasta 0,0046 mg/l, debido a la posible presencia de minería ilegal y la falta de tratamiento de las aguas residuales. Se recomienda que se realicen nuevas investigaciones evaluando el Índice de calidad de agua y la identificación de macro invertebrados.

Palabras clave: <EVALUACIÓN AMBIENTAL>, <CONTAMINACIÓN>, <METALES PESADOS>, <ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS>, <NORMATIVA AMBIENTAL>.



1205-DBRA-UTP-2022



ABSTRACT

This study aimed to evaluate the heavy-metal contamination in the river Cuchipamba, located in El Ideal civil parish, Gualaquiza canton, Morona Santiago province, through a physicochemical water analysis. It is focused on a qualitative-quantitative approach, as the evaluation reflects the current state of the water based on obtained data. It was a field and documentary research, as data was obtained from four different places of the river section and also a bibliographic review was done. Hence, it was determined the study field and through the ArcGIS software, it was generated a location map identifying four sampling locations. Each point outputs parameter data in situ and ex situ, it was carried out the laboratory testing on the concentrations of arsenic, mercury and lead. Once it was obtained data from the physicochemical analysis, results were compared together with the allowable limits established by the legal environmental regulations applicable in Ecuador. Moreover, contamination charts were created in accordance with the metal which exceeded the allowed limit with the help of the ArcGIS software. As a result, it was determined lead pollution in the river Cuchipamba at PM-04 during November, December and January, exceeding the concentration of 0,001 mg/l as per the current legal regulations. In conclusion, it is evident that there is heavy-metal contamination due to the lead high values from 0,004 to 0,0046 mg/l, as a possible presence of illegal mining and the absence of the correct wastewater treatment. It is recommended to realize new research evaluating the water quality index and identifying macro invertebrates.

KEYWORDS: <ENVIRONMENTAL EVALUATION>, <CONTAMINATION>, <HEAVY METALS>, <PHYSICOCHEMICAL ANALYSIS>, <ENVIRONMENTAL REGULATIONS>.



Jessica Galimberti

INTRODUCCIÓN

En la actualidad a nivel mundial la contaminación del medio ambiente es un problema de mayor interés que afecta a la sociedad, debido a que ocurre la pérdida de la calidad del agua, aire y suelo por las diferentes actividades antropogénicas que realiza el ser humano (Reyes et al., 2016, p. 66). La contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados, se ha convertido en el mayor problema ambiental, debido a la toxicidad que presentan en el agua de los ríos, entre los metales de mayor importancia toxicológica en el agua está el mercurio (Hg), arsénico (As), cromo (Cr), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y zinc (Zn) (Salas, 2014, p. 48).

La mayor fuente de contaminación de metales pesados es causada por actividades antropogénicas, especialmente por minería, actividades agronómicas, emisiones industriales y de sedimentos residuales. Los metales pesados presentan el mayor problema cuando exceden los límites permisibles según las normas oficiales de calidad ambiental del agua para el uso/consumo humano y presencia en productos alimenticios (Muyulema et al., 2019, pp. 41-42).

Algunos metales y metaloides como el arsénico, mercurio, cobre, plomo, cadmio, entre otros al entrar en contacto con el ser humano afecta a la salud y consigo ocasiona problemas cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos (Medel et al., 2008, p. 33).

El Ecuador posee 31 sistemas hidrográficos que se dividen en 79 cuencas hidrográficas y las mismas se subdividen en 137 cuencas y subcuencas (Hidalgo & Osorio, 2013, p. 15). La contaminación de los recursos hídricos en el país que se ha dado por la actividad petrolera en la Amazonía, funcionamiento de hidroeléctricas y represas que desvían el cauce de ríos, el vertimiento de las aguas residuales, la disposición de residuos sólidos y agroquímicos, especialmente por la extracción de los recursos naturales renovables y no renovables; esto provoca que nuestro país se convierta en un territorio susceptible a desastres naturales y antrópicos (Cevallos & Parrado, 2018, p. 86). Por ello las fuentes hídricas de la región amazónica en las últimas décadas han sido explotadas indiscriminadamente por empresas mineras e industriales poniendo en riesgo a los ecosistemas, sobre toda a las microcuencas (Van Teijlingen, 2019, p. 276).

El Catastro Minero de la Agencia de Regulación y Control Minero del Ecuador (ARCOM) refleja que en Gualaquiza aproximadamente el 30% de su territorio incluyendo zonas urbanas, se ha concesionado para minería, las diferentes concesiones realizan la explotación de oro, cobre y caliza (GAD Municipal de Gualaquiza, 2018). En la microcuenca del río Cuchipamba existe la presencia de minería que se encargan en la extracción de metales pesados y materiales pétreos utilizados para la construcción, así mismo, la falta de tratamiento de las aguas residuales de las parroquias Tarqui y el Ideal ponen en peligro la fauna y flora del lugar (GAD Municipal de Gualaquiza, 2020, p. 67). Se realiza el análisis de las concentraciones de los metales pesados como el Arsénico, Mercurio y Plomo en cuatro puntos definidos utilizando el método de espectroscopia de absorción atómica, considerando que en el río Cuchipamba existen empresas o minas de áridos y pétreos, minería

artesanal y actividades productivas que podrían causar la contaminación del recurso hídrico, debido a que no existe una línea base el mismo. Por lo tanto, la presente investigación evalúa la contaminación de metales pesados sobre el río Cuchipamba para conocer el estado actual del afluente superficial del río con la finalidad de conocer la calidad del agua, así como su factibilidad para usar como agua potable y de uso doméstico.

El presente documento se ha estructurado en cinco capítulos. El capítulo I explica el origen del problema analizando las actividades que están afectando la fuente hídrica, el capítulo II se basa en la revisión de la literatura con respecto a la contaminación del agua por metales pesados, el capítulo III describe la metodología que se va a utilizar para evaluar la contaminación de metales pesados, el capítulo IV detalla los resultados alcanzados durante la investigación para conocer el estado actual del río Cuchipamba y finalmente las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Los ríos son ecosistemas dinámicos y complejos, donde el agua, la flora y fauna son de vital importancia en el equilibrio y funcionalidad del ambiente, hoy en día se han convertido en receptores de aguas negras, residuos químicos y sólidos no tratados (Gastezzi et al., 2017, p. 40), encontrándose amenazados y sometidos a presiones como la contaminación, sobreexplotación y déficit hídrico (Ministerio del Medio Ambiente, 2018, p. 109).

El crecimiento demográfico y la industrialización en países en vías de desarrollo han provocado el deterioro del ambiente siendo el más grave la exposición a metales pesados, lo que causa la degradación y muerte de la vegetación, animales, fuentes hídricas superficiales y subterráneas, incluso daños directos al ser humano (Contreras et al., 2004, p. 39), por medio de la vía inhalatoria, oral y dérmica, produciendo efectos tóxicos agudos y crónicos, causando alteraciones pulmonares, gastrointestinales e intoxicación transplacentaria del feto mostrando retraso mental, trastornos de coordinación y deformación de extremidades (Osoreo et al., 2010, p. 312).

En el Ecuador, la contaminación de los ríos por metales pesados en el agua es causado por actividades antropogénicas, como procesos industriales, actividades de minería, desechos residuales domésticos y actividades productivas (Baquerizo, Acuña & Solis, 2019, párr. 3-6), lo que provoca que los ríos presenten concentraciones de metales pesados debido a la presencia mineralógica que superan los límites de referencia, daños a la salud, disminución de cauces y pérdida de la biodiversidad (Oviedo et al., 2017, p. 437).

Los ríos de la Amazonía ecuatoriana presentan una degradación en la calidad del agua debido a que existen fuentes de contaminación como son zonas ganaderas y agrícolas que se encuentran cerca de los afluentes, actividad minera con dragas, extracción de material pétreo y vertido de aguas servidas (Corporación Federal de Electricidad, CFE-ACOTENIC & Corporación Eléctrica del Ecuador, CELEC EP, 2011, p. 124), estas aguas causan daño a la salud de las personas con enfermedades de parasitosis y gastroenteritis debido a la elevada presencia de coliformes fecales, presencia de arsénico y exceden los niveles de plomo permitido, al igual no es adecuada para la vida acuática y son inapropiadas para la irrigación (Villa et al., 2018, pp. 50-58).

En el cantón Gualaquiza los ríos, Cuyes, Bomboiza y Cuchipamba se realiza el aprovechamiento de origen natural para extraer material árido y pétreo a lo largo de sus riberas, lo que causa una turbiedad opaca en el agua que es afectada por material suspendido como arcilla o materia orgánica. También se desarrollan actividades de minería metálica y no metálica, regulada y no

regulada, las mismas que causan la deforestación, turbiedad y desvío del río lo que provoca la inundación en las zonas agrícolas bajas, afectación al turismo de la zona y daños en el ecosistema. Cabe recalcar que la parroquia de El Ideal no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, las misma que pueden llegar a formar parte del cauce del río más cercano que es el Cuchipamba (GAD Municipal de Gualaquiza, 2020, p. 67).

Por estos motivos se considera necesario realizar la presente investigación que permite evaluar la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba en el tramo Guabi Bajo – Unión con el río Cuyes, para conocer el grado de contaminación que se presenta a lo largo de esta fuente hídrica debido al desarrollo de actividades antropogénicas de producción y turismo, identificando el uso adecuado del agua de acuerdo a sus condiciones.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba, Morona Santiago.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar los diferentes puntos de monitoreo para la recolección de muestras.
- Analizar las concentraciones de Arsénico, Mercurio y Plomo en cuatro puntos de muestreo del río Cuchipamba.
- Comparar la contaminación entre los puntos analizados en el río Cuchipamba.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

A nivel mundial se han realizado varios estudios para la evaluación de metales pesados en el agua, por ejemplo: la invención de tecnologías para el tratamiento de agua contaminada con plomo, cadmio, mercurio y arsénico (Cayetano, 2019, p. 11), en el río Haina se realizaron estudios por espectrometría de absorción atómica (Contreras et al., 2004, p. 43) y en los ríos de Puebla y Veracruz se utilizó la técnica de espectrometría de emisión atómica (Mancilla et al., 2011, p. 41) para determinar la concentración de metales pesados.

Varios ríos del Ecuador se encuentran contaminados con metales pesados por diferentes actividades, en donde sobresale la minería como la fuente principal de contaminación, según (Mora et al., 2016, pp. 32-35) y (Oviedo et al., 2017, pp. 437-441) en sus estudios realizados en varios ríos de El Oro. También se ha determinado la presencia de metales pesados en el estuario del río Chone, comparándolos con la legislación ecuatoriana para evidenciar el nivel de concentración y como afecta a la salud de los seres vivos (Pozo, 2017, p. 124).

Las principales fuentes de contaminación con metales pesados en los ríos de la Amazonía ecuatoriana, se ha dado por vertederos, minería a pequeña escala y piscicultura, de acuerdo a la identificación de impactos de múltiples fuentes de contaminación por metales pesados en el piedemonte andino oriental, realizado por (Velloso et al., 2020, p. 136088), presentando concentraciones de 500 veces superiores a los límites máximos permisibles para la preservación de la vida acuática.

El río Cuchipamba se encuentra ubicado en el cantón Gualaquiza, el mismo que se encuentra sometido a contaminación natural y antropogénica, por ello el Consorcio de Municipios Amazónicos y Galápagos (Consorcio de Municipios Amazónicos y Galápagos, COMAGA, 2012, p. 8) desarrollan el proyecto de monitoreo de la calidad del agua de los ríos de la zona, para determinar el grado de contaminación lo que permitirá definir políticas de recuperación y conservación de los mismos (Consorcio de Municipios Amazónicos y Galápagos, COMAGA, 2012, p. 9).

A lo largo del río Cuchipamba en el tramo Guabi – Unión con el río Bomboiza no existen publicaciones suficientes que permitan conocer la calidad del agua del río, al igual no se ha realizado estudios acerca de la evaluación de metales pesados, con la finalidad de brindar una evaluación de la fuente hídrica, se ha dado origen a la presente investigación.

2.2. Bases conceptuales

2.2.1. Evaluación

Es un proceso que parte desde criterios de valores dados, pretende obtener información necesaria para dar juicios de valor para la toma de decisiones, con el fin de comprobar de manera sistemática en qué grado se ha cumplido los objetivos (Lavilla, 2011, pp. 303-304).

2.2.2. Contaminación:

La contaminación se refiere a sustancias que dañan el ambiente, es: “la introducción de agentes biológicos, químicos o físicos a un medio al que no pertenecen. Cualquier modificación indeseable de la composición natural de un medio; por ejemplo, agua, aire o alimentos. Es la introducción de agentes biológicos, químicos o físicos a un medio al que no pertenecen” (Peñaloza, 2014, p. 2).

2.2.3. Metales pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos arsénico, mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo (Facultad de Ciencias de la Salud, FACS, 2017, p. 1).

2.2.4. Río

La Unión Europea lo define como un ecosistema Fluvial, en el que aparece el biotipo con elementos fundamentales como es el cauce, la ribera y la llanura de inundación; junto a esto la biota acuática y terrestre (Fernández, 2018, p. 1). El agua de los ríos proviene de acuíferos, humedad del suelo y de las precipitaciones sobre el lecho fluvial, se considera un ciclo constante de retroalimentación (Caramello & Saurí, 2016, p. 114).

2.2.5. Agua

El agua es una sustancia líquida desprovista de olor, sabor y color, que existe en estado más o menos puro en la naturaleza y cubre un porcentaje importante (71 %) de la superficie del planeta Tierra. Además, es una sustancia bastante común en el Sistema Solar y el universo, en sus formas de vapor (su forma gaseosa) o de hielo (su forma sólida) y líquida (Ondarse, 2021, p. 1).

2.2.6. Monitoreo

Es una actividad que se basa en recolectar y gestionar datos de un lugar o área de estudio, requiere mecanismos e instrumentos para recoger, sintetizar y almacenar información que resulte accesible (Mancero & de Rham, 2009, p. 14); es un proceso continuo de análisis de acuerdo al plan operativo del proyecto, al ser una actividad interna es un elemento fundamental para una buena administración y gestión de la entidad (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2012, p. 1).

2.2.7. Muestreo

El muestreo es una herramienta de investigación científica selecciona los componentes de la muestra del total de la población. Es el conjunto de reglas, criterios y procedimientos que por medio de ellos se selecciona un conjunto de elementos de una población que representan lo que sucede en toda la población (López, 2004, p. 69).

2.2.8. Concentraciones

Es la cantidad de soluto presente en una cantidad de disolvente o solución, cuantitativamente es la concentración entre la cantidad de soluto y disolvente. Para determinar la concentración de la disolución se puede aplicar dos tipos de unidad física y químicas (Fuentes, 2020, p. 1).

2.2.9. Arsénico

Es un elemento químico, cuyo símbolo es As con número atómico, 33. El arsénico se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (cerca de 5×10^{-4} % de la corteza terrestre). Es uno de los 22 elementos conocidos que se componen de un solo nucleído estable, $^{75}33\text{As}$; el peso atómico es de 74.922, se conocen otros 17 nucleídos radiactivos de As (LENNTECH, 2020).

2.2.10. Mercurio

Es un elemento químico de símbolo Hg, número atómico 80 y peso atómico 200.59, es un líquido blanco plateado a temperatura ambiente (punto de fusión -38.4°C o -37.46°F); su punto de ebullición es a 357°C (675.05°F) a presión atmosférica. Es un metal noble, soluble únicamente en soluciones oxidantes. El mercurio sólido es tan suave como el plomo. El mercurio forma compuestos muy tóxicos y soluciones llamadas amalgamas con algunos metales (por ejemplo, oro, plata, platino, uranio, cobre, plomo, sodio y potasio) (LENNTECH, 2018).

2.2.11. Plomo

Es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris-azulado que presente naturalmente en la corteza terrestre, raramente se encuentra en la naturaleza en la forma de metal. Generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de plomo. El plomo y las aleaciones de plomo son componentes comunes de cañerías, baterías, pesas, proyectiles y municiones, revestimientos de cables y láminas usadas para protegernos de la radiación. El principal uso del plomo es en baterías para automóviles y otros vehículos (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ATSDR, 2007, p. 1).

2.2.12. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, indica la concentración de iones hidronio [H₃O⁺] presentes en determinadas sustancias.

La sigla significa ‘potencial hidrógeno’, ‘potencial de hidrógeno’ o ‘potencial de hidrogeniones’ (pondus Hydrogenii o potentia Hydrogenii; del latín pondus, n. = peso; potentia, f. = potencia; hydrogenium, n. = hidrógeno). Este término fue acuñado por el químico danés S. P. L. Sørensen (1868-1939), quien lo definió como el opuesto del logaritmo en base 10 (o el logaritmo del inverso) de la actividad de los iones hidrógeno (Equipos y laboratorio de Colombia, EL, 2017, p. 1).

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Contaminación del agua

Se define como la adición de sustancias a un cuerpo de agua, lo que hace que no sea apto para diferentes usos. La materia extraña contaminante puede ser inerte como los compuestos de plomo o mercurio o viva como los microorganismos. También la contaminación de agua es: hacer que las aguas no sean aptas para algún uso particular (Junta de Calidad Ambiental, 2003, p. 2).

2.3.1.1. Principales contaminantes del agua

Existen parámetros principales para determinar el grado de contaminación de un cuerpo de agua que son: el número de bacterias coliformes, cantidad de oxígeno disuelto en el agua y pH.

Número de bacterias coliformes:

Son útiles para indicar contaminación postproceso térmico, sus principales fuentes son descargas sanitarias, tanto de hogares y negocios, como de sistemas municipales de recolección de aguas residuales (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica, ANMAT, 2006, p. 14).

Cantidad de oxígeno disuelto en el agua:

La reducción del oxígeno contribuye a la proliferación de los organismos anaeróbicos y generan sustancias perjudiciales para el ecosistema, las principales causas son la contaminación por materia orgánica y las descargas industriales cerca de la ribera de los cuerpos de agua y el estancamiento del agua (Carrillo et al., 2012, p. 2).

Fertilizantes y plaguicidas:

Los plaguicidas que se utilizan en la agricultura muchas veces son arrastrados hasta los cuerpos de agua en la misma forma que los fertilizantes. Una vez ingresados a la corriente de agua, los plaguicidas se descomponen y/o se adhieren a los sedimentos que contenga el cuerpo de agua, perjudicando la cadena trópica marina (Castillo et al., 2020, p. 14).

Sólidos suspendidos:

Son transportados por el arrastres y soporte del movimiento del agua, se generan por contaminación con aguas residuales o procesos de erosión, imparten turbiedad al agua haciéndola no apta para algunos usos como recreación, además de hacerlos estéticamente inaceptables (Pérez et al., 2016, p. 160).

Metales:

La contaminación por metales es causada por las descargas de aguas residuales de diferentes actividades antropogénicas, la principal de tipo industrial, aumentando su concentración en el agua y aumentando el riesgo a los seres humanos y otros organismos (Pabón et al., 2020, p. 10).

2.3.2. Metales pesados

Son tóxicos ambientales peligrosos, se encuentran en el ecosistema por largos periodos debido a que su degradación natural es difícil. Químicamente se define como elementos de alto peso atómico, son empleados en procesos industriales como el cadmio, cobre, plomo, mercurio y níquel, en concentraciones bajas son nocivos para plantas y animales (Rodríguez, 2017, p. 3372).

Los metales pesados de acuerdo a su función biológica se dividen en: oligoelementos y metales pesados sin función biológica conocida.

2.3.2.1. *Oligoelementos*

Los oligoelementos son esenciales para las células vivas, aunque en pequeñas cantidades, su carencia o ausencia en humanos provoca alteraciones metabólicas y fisiológicas, también se les vincula con enfermedades metabólicas (Ramírez et al., 2015, p. 1021). Cuando pasan cierta magnitud se vuelven tóxicos, por ejemplo:

Arsénico:

En su estado natural se encuentra en el suelo y minerales, puede entrar al aire, agua y suelo en forma de polvo por acción del viento. Al agua puede ingresar por medio de escorrentía o por filtración. Una vez en el ambiente no se puede eliminar, solamente cambia su forma o adherirse o separarse de partículas. Actualmente un 90% del arsénico es usado como preservativo de madera (ATSDR, 2007, pp. 1-2). Su toxicidad es de acuerdo a su forma química, está presente en minero-metalurgia. Los detergentes en el agua contribuyen a la masa de arsénico, en zonas agrícolas o mineras el arsénico está presentes con niveles altos debido a la aplicación de plaguicidas y la metalurgia del cobre (Ramírez, 2013, p. 238).

2.3.2.2. *Metales pesados sin función biológica conocida.*

Estos metales al presentarse en ciertas cantidades en los seres vivos llevan aparejadas disfunciones en el funcionamiento del organismo, son altamente tóxicos y tienden a acumularse en los organismos vivos (Chávez, 2011, p. 6), como son:

- Cadmio: es liberado al agua, aire y suelo durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, por la manufactura, la aplicación de abonos con fosfatos, disposición de los residuos; la absorción del cadmio en la sangre de una persona adulta es de 2 al 7 %. El cadmio en forma soluble se moviliza en el agua y en forma insolubles se deposita en sedimentos que luego serán absorbidos (Tafur, 2016, p. 52).
- Mercurio: es un metal que se encuentra distribuido en el ambiente, con alta toxicidad, siendo el responsable de contaminación a gran escala, siendo una amenaza para la vida acuática y la salud humana (Zambrano et al., 2014, p. 41). Antropogénicamente proviene de la metalurgia, de varias industrias y aguas residuales de las ciudades, cada año mil toneladas son liberadas desde las redes de alcantarillado hacia la superficie de la tierra (Ramírez, 2008, p. 46). Las principales fuentes de liberación son por fuentes naturales (actividad volcánica o erosión de rocas), liberaciones antropogénicas (mercurio en materias primas) y antiguas liberaciones antropogénicas de mercurio en suelos, sedimentos, agua, vertederos y acumulaciones de desechos que pasan a formar parte de los ciclos biológicos (Gaioli et al., 2012, p. 260).

- Plomo: es un metal que se ha usado desde la antigüedad, existe de forma orgánica e inorgánica, inorgánicamente se encuentra en productos de manufactura, los gases de combustión de la gasolina contienen plomo de manera orgánica, siendo más fácil que el cuerpo humano lo absorba, resultando más tóxicos (Poma, 2008, p. 120). El plomo ingresa al organismo por medio de la ingestión, inhalación y dérmica, por medio del torrente sanguíneo es transportado a los órganos y tejidos, se puede acumular en los huesos, dientes, hígado, pulmones, riñones y el cerebro; puede atravesar la barrera hematoencefálica y la placenta (Corzo & Velásquez, 2014, p. 142).

2.3.3. Métodos de detección de metales pesados

Son métodos de análisis instrumental que se han desarrollado y son utilizados en los laboratorios de investigación y de control (Rivera, 2013, p. 12).

2.3.3.1. Espectroscopía de absorción atómica

Es un análisis cuantitativo de precisión para la determinación de metales pesados, es un análisis rápido y fiable, en algunos casos es de alta sensibilidad. Se limita a realizar análisis de manera individual y no simultáneamente. Cada muestra ya sea líquida o sólida requiere de digestión antes de ser analizada (Gallegos et al., 2012, p. 19).

2.3.3.2. Espectroscopía de emisión atómica

Es una técnica que permite el análisis de una amplia gama de muestras como de catalizadores, alimentos, aguas y muestras geológicas. Determina y cuantifica varios elementos de la tabla periódica excepto el carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, flúor, gases nobles y elementos no frecuentes, sus concentraciones son desde el % hasta ppb (Instituto de catálisis y petroquímica, 2019, p. 1).

2.3.3.3. Fluorescencia de rayos x

La fluorescencia de rayos x es una técnica cualitativa y cuantitativa no destructiva, analiza muestras de agua, suelo, sedimentos y plantas (Chambi et al., 2019, p. 140). Mide la composición de la muestra generalmente sólida que es expuesta a radiación de rayos-x (Gutiérrez & Ranz, 2010, p. 109). La aplicación de esta técnica no es adecuada en campos que requieren métodos de alta sensibilidad, se puede aplicar en áreas como de biología, medicina, control ambiental y geología (Valentinuzzi, 2008, p. 33).

2.3.3.4. Voltamperometría de redisolución anódica

Es una técnica analítica usada para la detección de metales traza debido a su alta sensibilidad y reproducibilidad, con una concentración lineal para especies orgánicas e inorgánicas, proporciona un análisis rápido, tiene una determinación de varios analitos y puede determinar cinética y parámetros mecánicos (Romero et al., 2019, p. 296). Al ser una técnica sensible y reproducibles es la más usada en la actualidad, consiste en reducir un metal sobre un electrodo, en el caso del mercurio se lo reduce para formar una amalgama (Tafur, 2016, p. 4).

2.3.4. Metales pesados en la salud y ecosistema:

Los metales han sido conocidos desde hace años como las sustancias tóxicas más antiguas, debido a que producen efectos negativos sobre la salud, por medio del transporte medio-ambiente en el aire, agua, polvo y comida, y por alterar la forma bioquímica de los elementos. La vida silvestre tiende a acumular y concentrar metales, que a su vez incrementan el riesgo de toxicidad sobre la cadena alimenticia (Nava & Méndez 2011, pp. 140-141).

2.3.4.1. Efectos de los metales pesados

Salud:

Los metales y elementos químicos contaminantes tienen un mecanismo de acción y acumulación, entre los más destacados está el plomo que afecta a diferentes sistemas y órganos del cuerpo como es en el sistema nervioso llega a dañarlas neuronas del cerebro, afecta a la médula ósea y al riñón. Otro metal que afecta a la salud es el cadmio que afecta al riñón, y el arsénico que tiene efecto directo en las mitocondrias (Eróstegui, 2009, p. 45).

Medio ambiente:

La presencia de los metales pesados en el ambiente de acuerdo a su concentración altera la alcalinidad del suelo, contamina el agua y los cultivos. En las aguas superficiales como los ríos y lagos afectan a la fauna. El plomo en cantidades excesivas puede producir alteraciones en las plantas, la degradación del suelo disminuyendo su productividad que hasta puede llegar a causar la desertificación. La contaminación en fuentes de agua se da con un efecto silencioso, hasta evidenciar los daños producidos (Eróstegui, 2009, p. 45).

2.3.5. Muestreo

2.3.5.1. Muestreo probabilístico

Se basan con el fundamento de equiprobabilidad, los métodos utilizados buscan que los sujetos de la población tengan la misma probabilidad de ser seleccionados para representar y formar parte de la muestra, son más utilizados ya que buscan la mayor representatividad. Dentro de esta clasificación se encuentran los métodos de muestreo aleatorio simple, sistemático, estratificado, por conglomerados y muestreo polietápico (Hernández & Carpio, 2019, p. 76).

2.3.5.2. Muestreo no probabilísticos

En este tipo de muestreo se selecciona con cuidado los sujetos de la población utilizando criterios específicos, tomando en cuenta hasta donde es posible la representatividad, está clasificado por muestreo por cuotas, muestreo intencional o de conveniencia, muestreo casual o incidental y muestreo por redes (Hernández & Carpio, 2019, p. 76).

2.4. Marco legal

2.4.1. Buen vivir

La Constitución de la República del Ecuador en su Art. 14 del 2019 reconoce "el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados" (Código Orgánico del Ambiente, 2019, p. 1).

2.4.2. Recurso agua

En el Texto Unificado de Legislación Secundaria (TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (TULSMA), 2018, p. 236), Libro VI, Anexo 1, bajo la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la contaminación ambiental, establece la aplicación obligatoria y para todo el territorio nacional de:

- Los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua;
- Competencias de los diferentes actores;

- Criterios de calidad del agua para diferentes usos;
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistema de alcantarillado;
- Permisos de descarga;
- Parámetros de monitoreo de descarga a cuerpos de agua y sistemas de alcantarillado de actividades industriales o productivas, de servicios públicas o privadas;
- Métodos y procedimientos para determinar parámetros físicos, químicos y biológicos con potencial riesgo de contaminación del agua.
- El Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del 2018, establece Normas generales de criterios de calidad para los usos de las aguas superficiales, marítimas y de estuarios; la misma que toma en cuenta los siguientes usos del agua:
 - Consumo humano y uso doméstico.
 - Preservación de la vida acuática y silvestre.
 - Uso agrícola o de riego.
 - Uso pecuario.
 - Uso recreativo.
 - Uso estético.

2.4.3. Competencias

El Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD, 2020), en el Art. 136, determina el ejercicio de las competencias de gestión ambiental:

- Los gobiernos autónomos descentralizados provinciales deben gobernar, dirigir, ordenar, disponer, u organizar la gestión ambiental, la defensoría del ambiente y la naturaleza, en el ámbito de su territorio.
- Los gobiernos autónomos descentralizados municipales que establecerán, en forma progresiva, sistemas de gestión integral de desechos, a fin de eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado.
- Los gobiernos autónomos descentralizados parroquiales rurales promoverán actividades de preservación de la biodiversidad y protección del ambiente para lo cual impulsarán en su circunscripción territorial programas y proyectos de manejo sustentable de los recursos naturales y recuperación de ecosistemas frágiles.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Marco metodológico

El marco metodológico es el conjunto de acciones que describen y analizan el problema planteado, mediante la aplicación de técnicas de observación y recolección de datos que determina el "cómo" se realiza el estudio (Azuero, 2019, pp. 112-113). Se detalla el área de estudio, el trabajo in-situ, los métodos con sus instrumentos y equipos usados en los análisis de laboratorio.

3.2. Tipo de investigación

La investigación es de tipo exploratoria debido a que en este río no se han realizado análisis previos de contaminación con metales pesados, de tipo cuali-cuantitativa se califica el estado actual del agua por medio de los datos obtenidos de las mediciones para evaluar la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba, con la investigación descriptiva detallamos el fenómeno que puede estar causando la alteración o cambio del estado del agua y qué consecuencias ocasiona sobre el ambiente.

3.3. Área de estudio

El presente estudio se realizó en el río Cuchipamba, el mismo que se encuentra ubicado en la parroquia de El Ideal, perteneciente al cantón Gualaquiza, en la provincia de Morona Santiago, la parroquia de El Ideal cuenta con una población de 821 personas, dedicadas a las actividades de turismo, agricultura, ganadería, silvicultura, pesca, explotación de minas y canteras (GAD Municipal de Gualaquiza, 2020, pp. 30-31).

El tramo de estudio del río Cuchipamba comprende el sector del Guabi bajo, el casco parroquial y el sector de la unión del río Cuchipamba con el río Cuyes, todos estos sectores pertenecientes a la parroquia El Ideal.

El cantón Gualaquiza cuenta con una extensión de 2158,9281 km², conformado por 10 parroquias y limita al Norte con el cantón San Juan Bosco, Sigsig y la provincia del Azuay, al Sur con el cantón El Pangui, Yantzaza y la provincia de Zamora Chinchipe, al Este con el cantón San Juan Bosco y la República del Perú, al Oeste con el cantón Yacuambi y Nabón (GAD Municipal de Gualaquiza, 2020, pp. 13-15).

3.4. Identificación de los puntos de monitoreo

En la determinación de los puntos de monitoreo se realizó un recorrido del río Cuchipamba, teniendo en cuenta la accesibilidad y las condiciones del lugar, con el objetivo de establecer varios puntos para monitorear, estos datos se obtuvieron con ayuda de la aplicación Android GeoPosicion versión 5.0.0, estableciendo cuatro puntos de monitoreo, los mismos que fueron elegidos debido a que cada punto presenta características diferentes que nos ayudaron a evaluar el estado del río, los datos se representaron en coordenadas UTM WGS 84 mediante el *software* ArcMap 10.5.

La identificación de los cuatro sitios de muestreo del río se fijaron por referencia a las características de la orilla del río (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013c, p. 6), para la selección de los lugares se tomó en cuenta:

- El lugar proporcione una muestra representativa, preferiblemente, donde la posibilidad de que ocurran cambios marcados en la calidad, o donde la utilización del río es importante.
- Se deben elegir de preferencia, los sitios donde se tiene la disponibilidad de datos sobre el flujo. Se utilizan, frecuentemente los puestos de control del río para la instalación del equipo de monitoreo.
- Si el muestreo está destinado a monitorear los efectos de una descarga, este debe realizarse aguas arriba y aguas abajo del sitio de la descarga, pero cuidando las recomendaciones para permitir la mezcla de la descarga, la receptividad del agua y los efectos sobre las muestras a profundidad.



Figura 1-3: Mapa de ubicación de los puntos de monitoreo

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

Tabla 1-3: Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo

| LOCALIZACIÓN | | COORDENADAS UTM | | |
|--------------|------------------------|-----------------|------------|-------------|
| Estación | Nombre | Longitud | Latitud | Altura msnm |
| PM-01 | El Guabi | 763163,70 | 9624486,41 | 849 |
| PM-02 | El Guabi bajo | 762859,62 | 9624015,58 | 848 |
| PM-03 | Extracción de pétreos | 764304,44 | 9621269,93 | 833 |
| PM-04 | Unión con el río Cuyes | 764584,22 | 9620665,81 | 817 |

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

3.5. Equipos y Materiales

3.5.1. Equipos, instrumentos y reactivos para monitoreo y análisis de muestras

Tabla 2-3: Equipos, instrumentos y reactivos

| Equipos y materiales utilizados en campo | |
|--|--|
| Equipo/ Material | Descripción |
| pH metro digital Wasser | Equipo usado para medir el pH de manera in situ. |
| Botellas plásticas de un litro | Se utilizó para recolectar las muestras de agua en cada punto de monitoreo. |
| Envases de plástico | Se utilizó para recoger agua y medir el pH en cada punto de monitoreo. |
| Agua destilada | Utilizada para enjuagar el pH metro antes y luego de cada medición. |
| Toallas de papel | Se utilizaron para secar el pH metro. |
| Cooler | Utilizado para la conservación de las muestras. |
| Cámara fotográfica | Utilizada para las evidencias fotográficas. |
| Libreta de apuntes | Utilizada para anotar los datos medidos en campo. |
| GPS (App) | Se utilizó para la identificación de los puntos de monitoreo. |
| Cinta adhesiva y rotulador | Usado para la identificación de las muestras de cada punto, etiquetando el lugar, fecha y responsable. |

| Instrumentos y reactivos utilizados en laboratorio | |
|--|--|
| Instrumentos / Reactivos | Descripción |
| <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fuente de PAI - Espectrómetro - Placa caliente - Matraces cónico de 125 ml <p>Reactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ácido nítrico, HNO₃ - Ácido clorhídrico, 1+1 | <p>Usados en la determinación del Arsénico y Mercurio.</p> |
| <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espectrómetro de absorción atómica, equipado con inyector automático - Pipetas automáticas - Tubos de grafito con plataforma integrada - Tanque de argón <p>Reactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ácido ascórbico - Hci suprapur - Agua ultrapuro tipo i - Tritón x-100 - Modificador: pcci₂ 2000 mg/l - Estándar certificado de arsénico 1000 mg/L | <p>Instrumentos y reactivos usados para el análisis del plomo.</p> |

Fuente: APHA-AWWA-WPCF, 1992, pp. 299, 340-341; Mañay et al., 2009, pp. 88-89.

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

3.6. Monitoreo y toma de muestras de parámetros fisicoquímicos

El monitoreo del río Cuchipamba se realizó mediante la norma NTE 2176: Agua, calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013b, pp. 2-4). El monitoreo del río Cuchipamba se realizó durante los meses de noviembre y diciembre del 2021 y el mes de enero del 2022, los monitoreos se realizaron la segunda semana de los meses ya mencionados. La toma de las muestras de los parámetros fisicoquímicos se realizó en la mañana en un lapso de tiempo de 2 horas, siguiendo la siguiente metodología:

Tabla 3-3: Monitoreo y toma de muestras

| Parámetro | Procedimiento |
|--|---|
| pH | La medición del pH se realizó in-situ, para la toma de datos se utilizó el equipo pH metro digital Wasser, el mismo que se introdujo en un envase nuevo de plástico que contenía agua de cada punto de muestreo hasta que la lectura se estabilice, evitando que el agua moje el lector del pH metro y finalmente anotar el resultado obtenido en cada punto. |
| Metales pesados: - Arsénico - Mercurio - Plomo | Para la toma de muestras de estos parámetros en cada punto de muestreo se usó un envase plástico nuevo de dos litros, el mismo que se procedió a enjuagar tres veces con la misma agua del río, se introdujo el envase en el río hasta que se llene y no exista presencia de burbujas de aire para evitar modificaciones. |

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013b.

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

3.7. Manejo y conservación de muestras

En el manejo y conservación de las muestras se realizó en base a la norma NTE INEN 2169: agua, calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013, p. 4); una vez recolectada cada muestra se procedió a realizar el etiquetado para evitar confundirlas, después se colocó en el cooler con gel pack y hielo, con el fin de evitar que la muestra cambie su composición y luego trasladarlas al laboratorio AGRORUM de la ciudad de Guayaquil para su posterior análisis.

3.8. Análisis de metales pesados

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de AGRORUM, en la siguiente tabla se detalla los parámetros, métodos y procedimiento que se utilizó para su análisis.

Tabla 4-3: Procedimiento de análisis de metales pesados

| Análisis de las muestras | | |
|---------------------------------|---|--|
| Parámetro | Método | Procedimiento |
| Arsénico | SM 3120 ICP Método de plasma de acoplamiento inductivo | Se prepara la muestra mediante la digestión por ácido nítrico-ácido clorhídrico, completando un volumen final de 100 ml, previamente el equipo debe estar calibrado, luego la muestra se coloca en el espectrómetro para analizar la muestra, obteniendo los resultados en unidades de ug/l a los siete días. |
| Mercurio | | |
| Plomo | Espectrofotometría de absorción atómica de horno de grafito (Argón) | <p>Este método se realiza en dos procesos que son la atomización de la muestra y la absorción de radiación proveniente de una fuente por los átomos libre.</p> <p>Primero se inyecta la muestra en el tubo de grafito.</p> <p>Secado: una vez inyectada la muestra, se calienta a una temperatura inferior al punto de ebullición del solvente (80 a 180°C), la muestra es sometida a una temperatura menor de 80 a 180°C con el fin de que se evapore el solvente y los componentes volátiles de la matriz.</p> <p>Calcinado: luego se incrementa la temperatura de 350 a 1600°C, para remover la mayor cantidad de material de la muestra, sin pérdida del analito, en esta etapa el material sólido es descompuesto mientras que los materiales refractarios permanecen inalterados.</p> <p>Atomización: en esta etapa el horno se calienta a temperaturas de 1800 – 2800 °C para vaporizar los residuos del calcinado. Este proceso lleva a la creación de átomos libres en el camino óptico, en este paso se mide la absorbancia.</p> <p>Limpieza del horno: se realiza a una temperatura superior a la temperatura de atomización, cuanto mejor sea la separación de los elementos concomitantes del analito, mejor será la atomización y la determinación estará más libre de interferencias.</p> |

Fuente: APHA-AWWA-WPCF, 1992, pp. 301-302, 342-343; Mañay, Clavijo & Díaz, 2009.

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

3.9. Comparación de datos

3.9.1. Mapas de contaminación

Se realizaron mapas de contaminación en el *software* ArcMap 10.5, para identificar los puntos de contaminación en el tramo del río Cuchipamba, de acuerdo a los metales que excedieron los límites permisibles que establece la normativa ambiental legal vigente en el Ecuador.

3.9.2. Variación de datos

Se aplicó estadística descriptiva para analizar la variación de las concentraciones de arsénico, mercurio y plomo, y la medición del potencial de hidrógeno (pH) en las tres fechas de monitoreo en los cuatro puntos establecidos.

3.9.3. Normativa aplicable

Mediante estadística descriptiva se compararon las concentraciones del parámetro arsénico, mercurio y plomo obtenidas en laboratorio, con los límites permisibles establecidos por la normativa legal vigente del Ecuador, para establecer que parámetro y en qué punto exceden el límite permisible.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Descripción de los puntos de monitoreo

4.1.1. *PM-1 El Guabi*

El primer punto de monitoreo se encuentra ubicado en el sector El Guabi a cuatro kilómetros de la parroquia El Ideal, se consideró como referencia de una zona no intervenida por actividades antropogénicas debido a que no existe poblaciones cercanas, el río presentó un caudal irregular debido a las condiciones meteorológicas, a lo largo de sus riberas existe una variada y abundante vegetación arbórea.



Figura 1-4: Punto de monitoreo PM-01

Realizado por: Brito, Meibelline, 2021.

4.1.2. *PM-2 El Guabi Bajo*

El segundo punto de monitoreo se encuentra ubicado en el sector El Guabi a tres kilómetros de la parroquia El Ideal, se consideró esta zona debido a que existía pequeña minería artesanal, en un radio de un kilómetro se encuentra asentada una pequeña población de alrededor de cinco familias dedicadas a la agricultura y ganadería, el río presenta un caudal irregular debido a las condiciones climáticas, a lo largo de sus riberas existe una vegetación arbórea y de pastizales.



Figura 2-4: Punto de monitoreo PM-02

Realizado por: Brito, Meibelline, 2021.

4.1.3. PM-3 Área de pétreos

El tercer punto de monitoreo se encuentra ubicado en la parroquia de El Ideal a cien metros del parque central, se consideró esta zona debido a que en esta área se dedican a la extracción de áridos y pétreos, existe una población extensa que se dedican a las actividades de agricultura y ganadería, esta parroquia no cuenta con el servicio de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, en esta parte el río presenta un caudal constante, a sus riberas existe vegetación arbórea.



Figura 3-4: Punto de monitoreo PM-03

Realizado por: Brito, Meibelline, 2021.

4.1.4. PM-4 La unión

El cuarto punto de monitoreo se encuentra ubicado en la parroquia del El Ideal a veinticinco metros de la unión del río Cuchipamba con el río Cuyes los cuales al unirse forman el río Bomboiza, se consideró esta zona debido a que sus pobladores desarrollan actividades de ganadería, agricultura, turismo y recreación, el río presenta un causal irregular debido a las condiciones climáticas y en sus riberas posee una vegetación variada por pastizales y árboles.



Figura 4-4: Punto de monitoreo PM-04

Realizado por: Brito, Meibelline, 2021.

4.2. Mapas de contaminación

Mediante los siguientes mapas se identifica la dispersión de los metales que se encuentran contaminando el agua del río Cuchipamba, en los tres meses de muestreo y en los cuatro puntos de monitoreo.

De acuerdo con los análisis realizados en el laboratorio, el plomo es el metal que se encuentra contaminando el agua del río en los tres meses de muestreo en el punto PM-4.

4.2.1. Mapa de contaminación con plomo en el mes de noviembre



Figura 5-4: Mapa de concentración de plomo en noviembre

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

La figura 5-4 muestra el mapa de dispersión del plomo durante el mes de noviembre, el río Cuchipamba presenta una dinámica de flujo que va de norte hacia el sur, la contaminación comienza en el punto PM-4 que se encuentra ubicado al sur de nuestra área de estudio con una concentración de 0,004 mg/l como se identifica en el mapa con color rojo, esto se debe a la posible presencia de minería ilegal, la falta de alcantarillado y la planta de tratamiento de aguas residuales en las parroquias de El Ideal y Nueva Tarqui. Los puntos PM-1, PM-2 y PM3 se identifican con color azul en el mapa debido a que presentan concentraciones menores de plomo, esto se podría deberse a que al existir pueblos pequeños no hay mucha carga de contaminante.

4.2.2. Mapa de contaminación con plomo en el mes de diciembre



Figura 6-4: Mapa de concentración de plomo en diciembre

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

La figura 6-4 muestra el mapa de dispersión del plomo durante el mes de diciembre, el río Cuchipamba fluctúa de norte hacia el sur, la contaminación empieza en el punto PM-4 que se encuentra ubicado al sur de nuestra área de estudio con una concentración de 0,0042 mg/l como se representa en el mapa con color rojo, esto se debe a que posiblemente existiera la presencia de minería ilegal, falta de alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales en la parroquia de El Ideal. Los puntos PM-1, PM-2 y PM3 se identifican con color azul en el mapa debido a que no presentan riesgo de contaminación, poseen concentraciones menores de plomo, esto se podría deberse a que existen poblaciones pequeñas que no generan grandes cantidades de contaminantes.

4.2.3. Mapa de contaminación con plomo en el mes de enero

MAPA DE CONTAMINACIÓN CON PLOMO EN EL MES DE ENERO

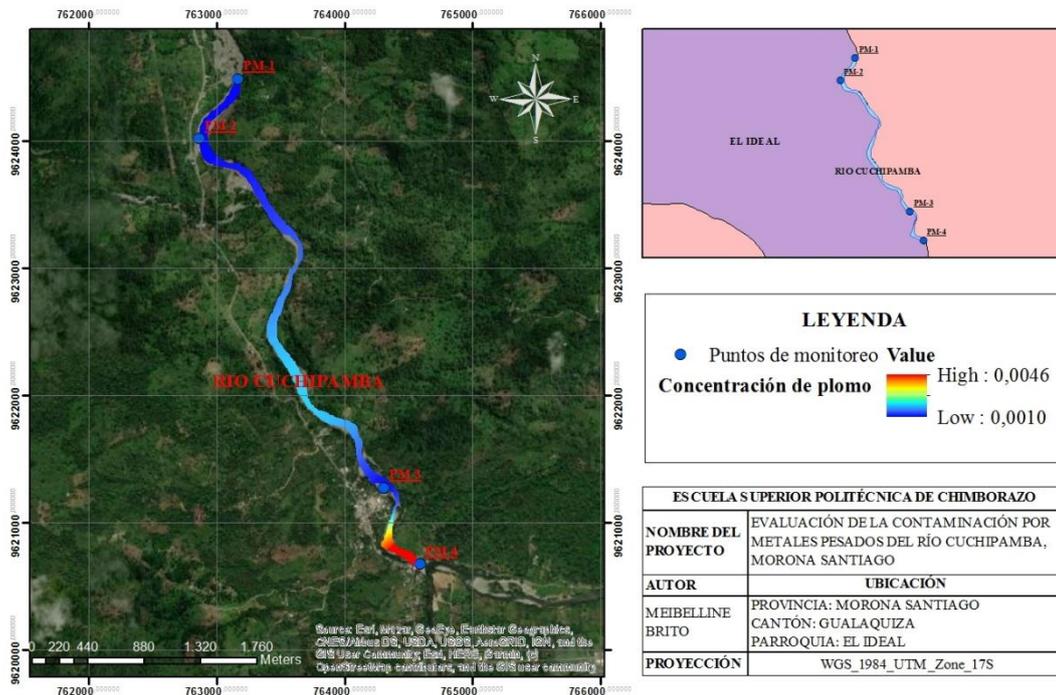


Figura 7-4: Mapa de concentración de plomo en enero

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

La figura 7-4 muestra el mapa de dispersión del plomo durante el mes de enero, el río Cuchipamba presenta un caudal que fluctúa de norte hacia el sur, la contaminación empieza en el punto PM-4 que se ubica al sur de nuestra área de estudio con una concentración de 0,0046 mg/l que se representa de color rojo en el mapa, esto se debe a que posiblemente al unirse con el colindante río Cuyes en el cual se presume que existe la presencia de minería ilegal, y falta de alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales en la parroquia de El Ideal. Los puntos PM-1, PM-2 y PM3 se identifican en el mapa con color azul debido a que no presentan contaminación, tienen concentraciones menores de 0,001 mg/l de plomo, esto se podría deberse a que a sus alrededores existen poblaciones pequeñas que no generan grandes cantidades de contaminantes.

4.3. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y metales pesados

4.3.1. Potencial de hidrógeno (pH)

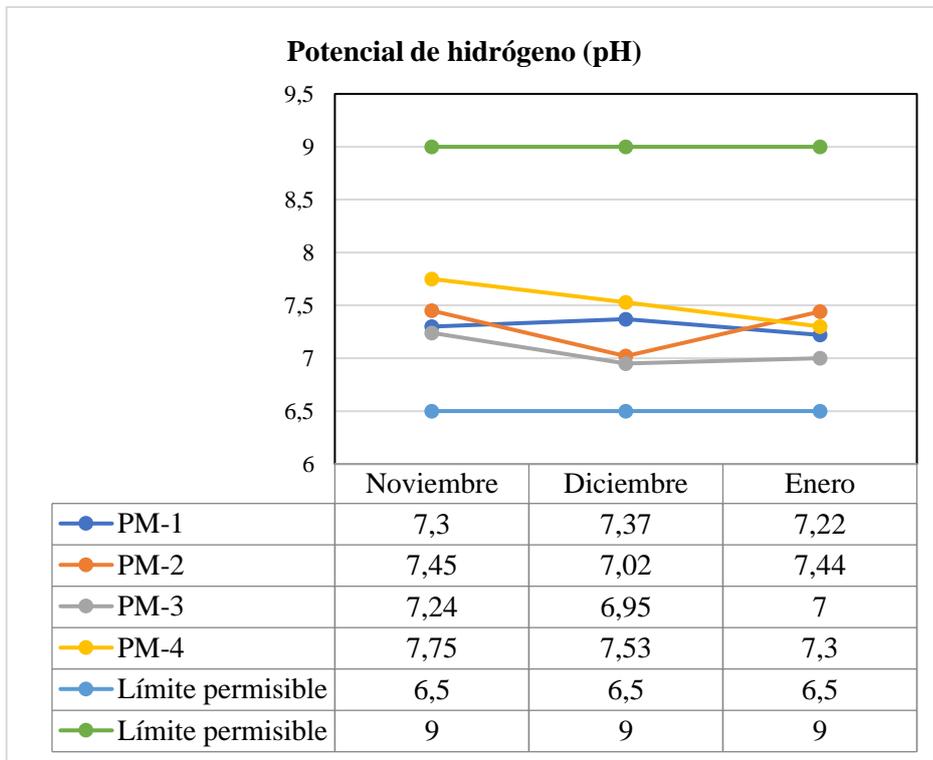


Gráfico 1-4: Variación del potencial de hidrógeno

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

El gráfico 1-4 presenta la variación del potencial de hidrógeno en las cuatro estaciones de monitoreo que se realizaron en los meses de noviembre, diciembre y enero, los valores se encuentran en un rango de 6,95 a 7,75 siendo el valor más alto registrado durante el mes de noviembre en la estación PM-4 y el valor más bajo fue registrado durante el mes de diciembre en la estación PM-3.

De acuerdo con el estudio realizado por (Beita y Barahona, 2011, p. 162) indica que el pH en aguas de río como las dadas en los cuatro puntos de monitoreo varían entre 6,0 – 8,5 debido a su influencia en los sistemas biológicos, valores superiores o inferiores producen limitaciones en la fisiología y desarrollo de los organismo acuáticos.

Los valores obtenidos de pH se encuentran dentro del rango 6,5 a 9 aceptable establecido en la tabla 2 del acuerdo ministerial 097A, considerando al río Cuchipamba como admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces (Ministerio del Ambiente, 2015, p. 182).

4.3.2. Concentración de metales pesados en las muestras de agua

4.3.2.1. Concentración de arsénico (As) en las muestras de agua (mg/L)

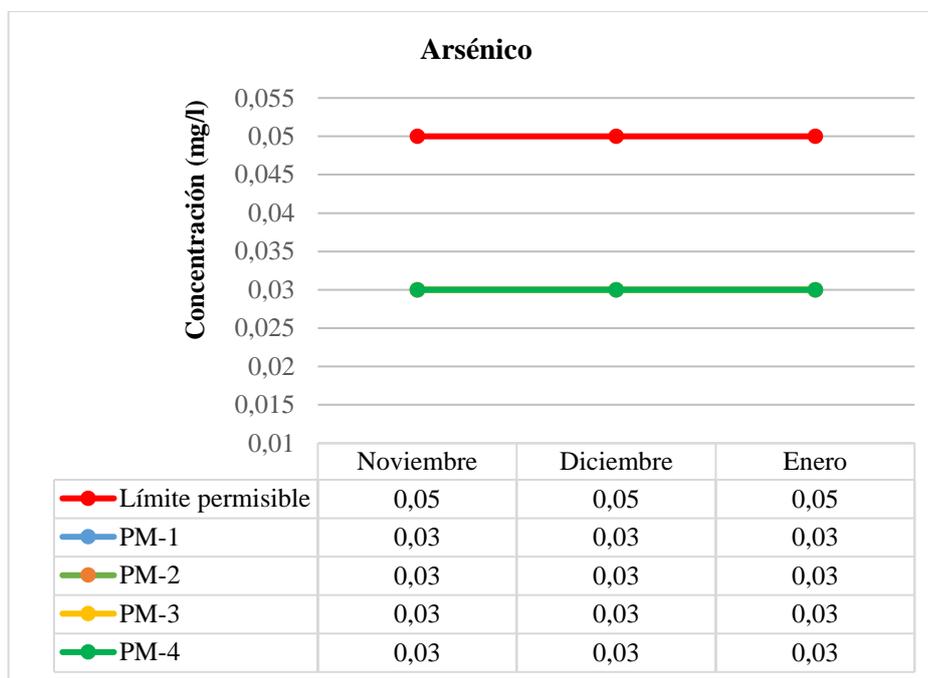


Gráfico 2-4: Variación de la concentración de arsénico

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

El gráfico 2-4 muestra la concentración de arsénico en cada punto de monitoreo realizado en los meses de noviembre, diciembre y enero, con los resultados obtenidos no se pudo evidenciar la variación de la concentración, debido que el método aplicado detecta concentraciones desde 0,03 mg/l de arsénico y las concentraciones de las muestras de agua se encontraba menor al rango de detección.

El contenido de arsénico en aguas superficiales que no han sido contaminadas como en los cuatro puntos de monitoreo son inferiores a 0,8 ug/l, esto puede variar debido a varios factores como la recarga superficial y subterránea, litología de la cuenca, clima, actividad minera y disposición de residuos (Lillo, 2008, p. 33).

Los valores obtenidos de arsénico se encuentran dentro de los límites permisibles en la tabla 2 del acuerdo ministerial 097A que presenta un límite permisible de 0,05 mg/l, considerando que el agua del río Cuchipamba se considera admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce (MAAE, 2015).

4.3.2.2. Concentración de mercurio (Hg) en las muestras de agua (mg/L)

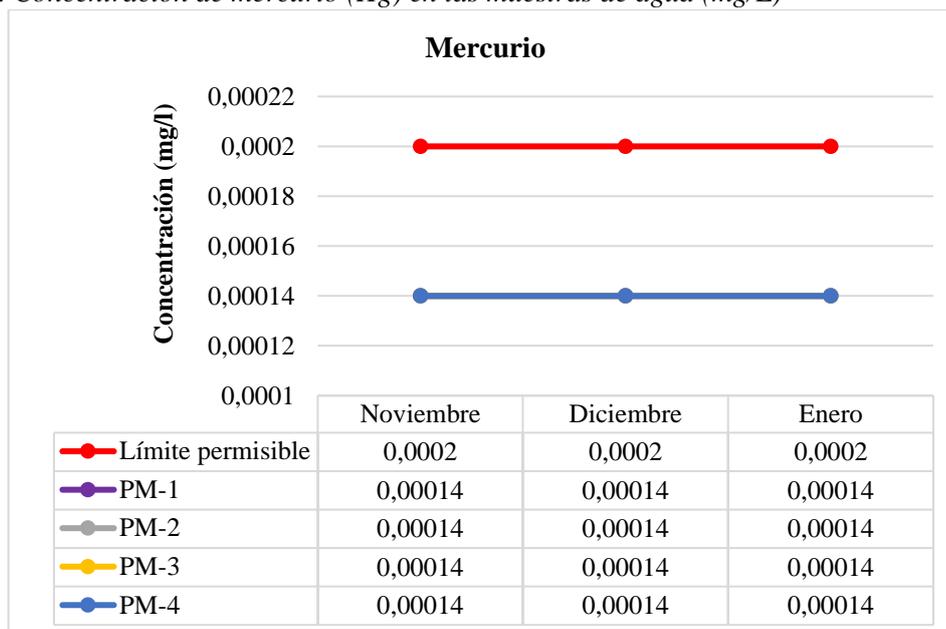


Gráfico 3-4: Variación de la concentración de mercurio

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

El gráfico 3-4 indica la concentración de mercurio en cada punto de monitoreo realizado en los meses de noviembre, diciembre y enero, con los resultados obtenidos no se puede evidenciar la variación de la concentración, debido a que el método aplicado detecta concentraciones desde 0,00014 mg/l y las muestras de agua contenían concentraciones menores al rango de detección. Por ello se considera que el río Cuchipamba se considera admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce.

Las concentraciones de mercurio en los cuatro puntos de monitoreo se encuentran en niveles bajos a comparación de las concentraciones que se pudieran encontrar si se realizaran análisis en los sedimentos y en especies de fauna y flora del río, ya que los peces son buenos indicadores de contaminación por metales pesados, debido a que tienen la capacidad de bioacumular y biomagnificar altas concentraciones de metales (Mancera & Álvarez, 2006, pp. 5-6).

En épocas lluviosas o de mayor precipitación incide una mayor dilución y menor concentración de mercurio en el agua, por eso no se evidenció altas concentraciones de mercurio durante el estudio del río Cuchipamba (Loza y Ccancapa, 2020, p. 33).

4.3.2.3. Concentración de plomo (Pb) en las muestras de agua (mg/L)

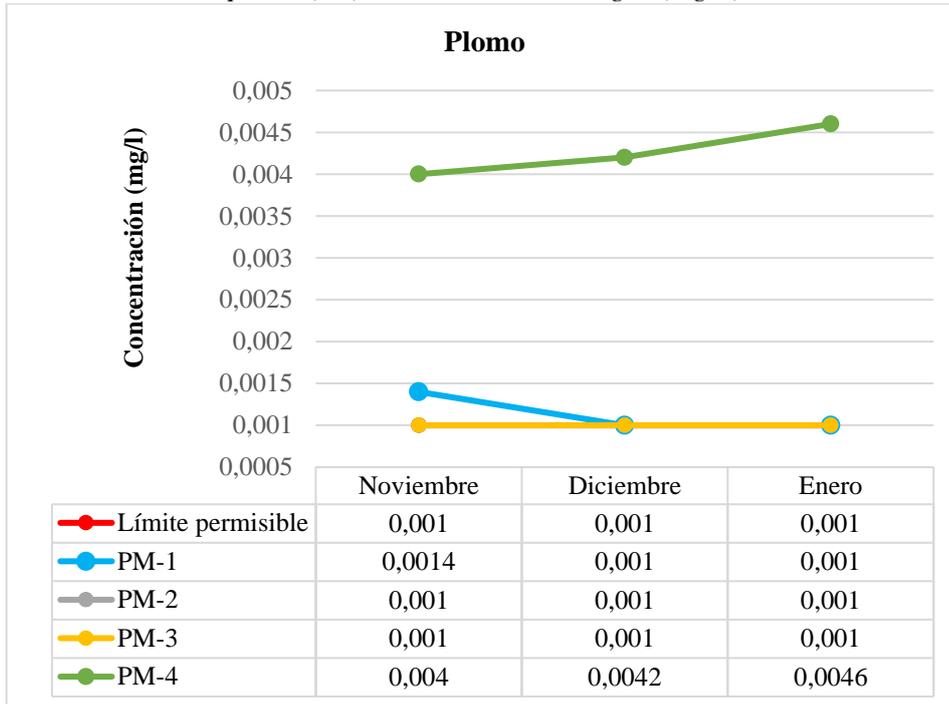


Gráfico 4-4: Variación de la concentración de plomo

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

El gráfico 4-4 muestra la variación de la concentración de plomo en cada punto de monitoreo realizado en los tres meses de estudio, demostrando que la concentración de plomo más alta se registró en el punto PM-4 en el mes de enero con un valor de 0,0046 mg/l, mientras que la concentración más baja se registró en los puntos PM-2 y PM-3 en los tres meses con valores menores a 0,001 mg/l.

Las aguas superficiales en las áreas que no han sido contaminadas PM-2 y PM-3 presentan concentraciones de plomo menores a 1 microgramo/litro, debido a que se pueden formar compuestos insolubles de tipo carbonatos y sulfatos (Ubillus, 2003, p. 14).

En el estudio realizado por (Rodríguez, 2012, p. 6) indica que el alto contenido de plomo en aguas superficiales como las dadas en el PM-4 se da por actividades mineras que implican la introducción de plomo en la cadena trófica, afectando la conservación de los ecosistemas naturales, riesgos a la fauna y al ser humano.

La presencia del plomo en el agua superficial como se muestra en el punto PM-4 se puede ocasionar por los vertimientos de aguas residuales que proceden de las actividades humanas, domesticas e industriales, esto podría afectar al equilibrio de los ecosistemas y generar riesgos al ambiente (Quispe et al., 2019, p. 87).

4.4. Comparación de la concentración de metales pesados en el agua con la normativa legal vigente

Tabla 1-4: Comparación de la concentración de pH y metales pesados

| SITIO | MES | pH | As (mg/L) | Hg (mg/L) | Pb (mg/L) |
|-----------------|-----------|---------|--------------|--------------|--------------|
| PM-1 | Noviembre | 7,30 | < 0,03 | < 0,000141 | 0,0014 |
| | Diciembre | 7,37 | < 0,03 | < 0,000141 | <0,001 |
| | Enero | 7,22 | < 0,03 | < 0,000141 | <0,001 |
| PM-2 | Noviembre | 7,45 | < 0,03 | <0,000141 | <0,001 |
| | Diciembre | 7,02 | < 0,03 | < 0,000141 | <0,001 |
| | Enero | 7,44 | < 0,03 | < 0,000141 | <0,001 |
| PM-3 | Noviembre | 7,24 | < 0,03 | <0,000141 | <0,001 |
| | Diciembre | 6,95 | < 0,03 | < 0,000141 | <0,001 |
| | Enero | 7,00 | < 0,03 | < 0,000141 | <0,001 |
| PM-4 | Noviembre | 7,75 | < 0,03 | <0,000141 | 0,004 |
| | Diciembre | 7,53 | < 0,03 | < 0,000141 | 0,0042 |
| | Enero | 7,30 | < 0,03 | < 0,000141 | 0,0046 |
| TULSMAS Tabla 2 | | 6,5 a 9 | 0,05 | 0,0002 | 0,001 |

Fuente: TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (TULSMA), 2015.

Realizado por: Brito, Meibelline, 2022.

En la Tabla 1-4 se encontró que el pH presenta el valor más alto de 7,75 en el punto de monitoreo 4 durante el mes de noviembre, los valores encontrados de pH en todos los puntos de monitoreo durante los meses de noviembre, diciembre y enero se encuentran dentro de los límites permisibles que establece la normativa legal vigente en la tabla 2 de acuerdo ministerial 097-A (TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (TULSMA), 2015, p. 14). En el caso del Arsénico se presentaron valores menores al límite de detección 0,03 mg/l encontrándose por debajo del límite permisible.

Las concentraciones de mercurio presentan valores menores al límite de detección 0,000141 mg/l encontrándose dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa legal vigente ecuatoriana. El plomo es el metal que superó el límite máximo permisibles en el punto PM-4 durante los tres meses de muestreo con un valor máximo de 0,0046 mg/l en el punto PM-4 durante el mes de enero lo que equivales a cuatro veces el valor de la norma.

CONCLUSIONES

- Se evaluó la contaminación por metales pesados del río Cuchipamba de la parroquia El Ideal, en un tramo de 5 km, que está conformado por el barrio Centro, la Unión y el Guabi existiendo varias actividades productivas, económicas y turísticas, produciendo que en el PM-4 se identifique al plomo como contaminante debido a que supera la norma establecida.
- Mediante el recorrido realizado en el río Cuchipamba, se identificó cuatro puntos de monitoreo, seleccionados de acuerdo a las características hidrológicas basados en la accesibilidad al río, la seguridad del recolector y posibles fuentes de contaminantes lo que fue esencial para recolección de las muestras de agua para el desarrollo de la presente investigación.
- Mediante el análisis fisicoquímico se analizó las concentraciones de pH, arsénico, mercurio y plomo en los cuatro puntos de monitoreo durante el periodo noviembre, diciembre y enero, pudiéndose observar que el pH se encontró dentro del rango 6,95 a 7,75. El arsénico presentó valores menores a 0,03 mg/l y el mercurio presentó valores menores a 0,00014 mg/l durante todos los meses y puntos de monitoreo. El plomo presentó valores altos de 0,004 hasta 0,0046 mg/l en el punto PM-4.
- Se comparó la contaminación del río Cuchipamba entre los puntos analizados de acuerdo a los metales que superaban los límites permisibles, siendo el plomo el metal que superaba los límites permisibles en el PM-4 debido a la posible presencia de minería ilegal (Rodríguez 2012) y la falta de tratamiento de las aguas residuales (Quispe 2019); por medio de mapas de contaminación hídrica se identificó los valores de la concentración del metal contaminante y se evidencia su área de afectación.

RECOMENDACIONES

- Debido a la grande extensión del río Cuchipamba se recomienda que para futuras investigaciones se establezcan punto de referencia desde el origen del río, para obtener datos más representativos acerca de las concentraciones de metales pesados en el agua.
- Debido a los factores meteorológicos presentados durante el periodo de desarrollo de nuestro proyecto, se recomienda incrementar fechas de muestreo, especificando la época lluviosa y seca, para obtener un mejor análisis del río Cuchipamba.
- Se recomienda que se realicen nuevas investigaciones en el río Cuchipamba, para evaluar su estado mediante el Índice de calidad de agua y la identificación de macro invertebrados.
- Se recomienda que se generen proyectos de vinculación en la parroquia de El Ideal, que permitan mejorar la calidad del agua de las fuentes hídricas que intervienen en su territorio.

BIBLIOGRAFÍA

ADMINISTRACIÓN NACIONAL DE MEDICAMENTOS, ALIMENTOS Y TECNOLOGÍA MÉDICA, ANMAT. *Guía de interpretación de resultados microbiológicos de alimentos* [en línea]. Argentina, 2006, pp. 1-21. ISSN 1367-0050. Disponible en: <https://goo.gl/awcz18>

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES, ATSDR. *Resumen de salud pública plomo* [en línea]. Estados Unidos, 2007, pp. 1-15. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.pdf

APHA-AWWA-WPCF. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* [en línea]. España: Editorial Díaz de Santos S.A., 1992, pp. 249-343. ISBN 84-7978-031-2. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=307542>

AZUERO AZUERO, Ángel Enrique. "Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación". *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía* [en línea], 2019 (Venezuela), IV (8), pp. 110-127. ISSN 2542-3088. DOI 10.35381/r.k.v4i8.274. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334595342_Significatividad_del_marco_metodologico_en_el_desarrollo_de_proyectos_de_investigacion

BAQUERIZO CABRERA, Martha., ACUÑA CUMBA, María & SOLIS CASTRO, María. "Contaminación de los ríos: caso río Guayas y sus afluentes". *Manglar Revista de investigación científica* [en línea], 2019, 16 (1). DOI 10.17268/manglar. Disponible en: <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/118/241>

BEITA-SANDÍ, Wilson & BARAHONA-PALOMO, Marco. "Físico-químico de las aguas superficiales de la Cuencia del río Rincón , Península de Osa, Costa Rica". *UNED Research Journal/ Cuadernos de investigación UNED* [en línea], 2021, (Costa Rica), 2 (2)v, pp. 157-179. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/5156/515651982004.pdf>

CARRILLO, D., CARVAJAL, S., COTO, J., SALGADO, V., HERRERA, J., ROJAS, D. & BENAVIDEZ, C. *Variación del oxígeno disuelto en el Río Burío-Quebrada Seca, Heredia, Costa Rica, en el periodo 2005 - 2010.* Universidad Nacional Costa Rica, 2012.

CASTILLO, B., RUIZ, J., MANRRIQUE, M. & POZO, C. "Contaminación por plaguicidas agrícolas en los campos de cultivos en Cañete (Perú)". *Revista Espacios* [en línea], 2020, 41 (10),

pp. 11-22. ISSN 0798-1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n10/a20v41n10p11.pdf>

CAYETANO, Paolo. *Tecnologías para la recuperación de agua contaminada con metales pesados: plomo, cadmio, mercurio y arsénico.* *Boletín Tecnológico N° 3* [en línea]. Lima - Perú: 2019, p. 11. Disponible en: <https://web.ins.gob.pe/sites/default/files/Archivos/ogitt/cati/3-BOLETÍN TÉCNOLOGICAS N-3 2019.pdf>

CORPORACIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, CFE-ACOTENIC & CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR, CELEC EP. *CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL ÁREA REFERENCIAL DEL PHS (LÍNEA BASE).* *CELEC* [en línea]. 2011. Disponible en: <http://acotecnic.com/wp-content/uploads/2016/01/5.1-LINEA-BASE-AREA-3-V5.pdf>

CEVALLOS ARÁUZ, Andrea & PARRADO RODRÍGUEZ, Cristhian. "Vulnerabilidad al cambio climático en Pedernales, Ecuador: retos desde el agua" *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales* [en línea]. 2018, (24), pp. 83-104. ISSN 1390-6631. DOI 10.17141/letrasverdes.24.2018.3326. Disponible en: <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/lverdes/n24/1390-6631-lverdes-24-00083.pdf>

CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE. *Reglamento al código orgánico del ambiente (RCOA).* *Registro Oficial Suplemento 507* [en línea]. Disponible en: <https://site.inpc.gob.ec/pdfs/lotaip2020/REGLAMENTO%20AL%20CODIGO%20ORGANICO%20DEL%20AMBIENTE.pdf>

CONSORCIO DE MUNICIPIOS AMAZÓNICOS Y GALÁPAGOS, COMAGA. "Monitoreo calidad de agua de ríos amazónicos". Fondo para la Protección del Agua, FONAG [en línea]. 2012. Disponible en: http://www.fonag.org.ec/web/wp-content/uploads/2019/09/AGUA_A_FONDO23-min.pdf

CONTRERAS, J., MENDOZA, C. y GÓMEZ, A. "Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina". *Ciencia y Sociedad* [en línea], 2004, (República Dominicana), 29 (1), pp. 38-71. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/870/87029103.pdf>

EQUIPOS Y LABORATORIO DE COLOMBIA, LE. *Potencial de hidrógeno* [en línea]. Colombia, 2011. Disponible en: <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/potencial-de->

Ecuador: 2013b. Disponible en: https://gestionambiental.pastaza.gob.ec/biblioteca/legislacion-ambiental/patrimonio_natural/nte_inen_2176_1_agua_calidad_agua_muestreo_tecnicas_muestreo.pdf

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2266:2013: Agua, calidad del agua, muestreo, diseño de los programas de muestreo* [en línea]. Quito - Ecuador: 2013c. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2226-1.pdf>

JUNTA DE CALIDAD AMBIENTAL. *Contaminación de agua* [en línea]. Puerto Rico> 2003. Disponible en: [http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/Fuentes de contaminacion/JCA contaminacion agua.pdf](http://agricultura.uprm.edu/escorrentia/Fuentes_de_contaminacion/JCA_contaminacion_agua.pdf)

LENNTECH. *Propiedades químicas del mercurio - Efectos del mercurio sobre la salud - efectos ambientales del mercurio* [en línea]. 2018. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/hg.htm#:~:text=Elemento%20qu%C3%ADmico%2C%20s%C3%ADmbolo%20Hg%2C%20n%C3%BAmero,tan%20suave%20como%20el%20plomo.>

LENNTECH. *Propiedades químicas del arsénico - Efectos del arsénico sobre la salud - efectos ambientales del arsénico* [en línea]. 2020. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/as.htm#:~:text=La%20exposici%C3%B3n%20al%20Ars%C3%A9nico%20inorg%C3%A1nico,e%20irritaci%C3%B3n%20de%20los%20pulmones.>

LILLO, Javier. *Peligros geoquímicos: arsénico de origen natural en las aguas* [en línea]. Grupo de Estudios de Minería y Medioambiente: 2008, p. 33. Disponible en: http://www.aulados.net/GEMM/Documentos/Peligros_geoquimicos_As/Peligros_As_2.pdf

LÓPEZ, Pedro. "Población Muestra y Muestreo". Punto Cero [en línea], 2004, 9 (8), pp. 69-74. ISSN 1815-0276. Disponible en: http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012

LOZA DEL CARPIO, Alfredo & CCANCAPA SALCEDO, Yenny. "MERCURIO EN UN ARROYO ALTOANDINO CON ALTO IMPACTO POR MINERÍA AURÍFERA ARTESANAL (LA RINCONADA, PUNO, PERÚ)". *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [en línea], 2020, 36 (1), pp. 33-44. ISSN 01884999. DOI

10.20937/RICA.2020.36.53317. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v36n1/0188-4999-rica-36-01-33.pdf>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Acuerdo Ministerial 097A. Libro VI, Anexo 5* [en línea]. 2015, p. 184. Disponible en: http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf

MAÑAY, N., CLAVIJO, G. y DÍAZ, L. *Absorción atómica con horno de grafito* [en línea]. Uruguay: 2009, pp. 79-92. Disponible en: <http://riquim.fq.edu.uy/archive/files/02ba23e6cc083af03bfc55ac63a98a0c.pdf>

MANCERA RODRÍGUEZ, Néstor & ÁLVAREZ LEÓN, Ricardo. "Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia". *Acta Biológica Colombiana* [en línea], 2006, 11 (1), pp. 3-23. ISSN 0120-548X. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v11n1/v11n1a01.pdf>

MANCILLA, Óscar., ORTEGA, Héctor., RAMÍREZ, Carlos., USCANGA, Ebandro., RAMOS, Rosalía & REYES, Amada. "Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], 2012, 28 (1), pp. 39-48. ISSN 01884999. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a4.pdf>

MEDEL REYES, Alejandro., RAMOS GÓMEZ, Samanta., AVELAR GONZÁLEZ, Francisco., MORA TOBAR, Luis & RODRÍGUEZ VALADEZ, Francisco. "Caracterización de Jales Mineros y evaluación de su peligrosidad con base en su potencial de lixiviación". *Conciencia Tecnológica* [en línea], 2008, (Aguascalientes - México), (35), pp. 32-35. ISSN 1405-5597. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403504>.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. *Guía De Apoyo Docente En Biodiversidad* [en línea]. Santiago de Chile - Chile: Alvimpress, 2018, p. 109. Disponible en: https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-biodiversidad-docentes_web.pdf

MORA, Abrahan., JUMBO, Diana., GONZÁLEZ, Max & BERMEO, Santos. "Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Puyango, Ecuador". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea], 2016, 32 (4), pp. 385-397. ISSN 01884999. DOI

10.20937/RICA.2016.32.04.02. Disponible en:
<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2016.32.04.02>

MUYULEMA, J., CANGA, S., PUCHA, P. y ESPINOSA, C. "Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) – Ecuador" *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica* [en línea], 2019, (Ambato - Ecuador), 7 (42), pp. 40-61. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/riiit/v7n41/2007-9753-riiit-7-41-40.pdf>

ONDARSE ÁLVAREZ, Dianelys. *¿Qué es el agua?* [en línea]. Argentina, 2021. Disponible en: <https://concepto.de/agua/>

OSORES, F., GRÁNDEZ, J.A. y FERNÁNDEZ, J.L. "Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú". *Acta Médica Peruana* [en línea], 2010, 27 (4), pp. 310-314. ISSN 1728-5917. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/amp/v27n4/a16v27n4.pdf>

OVIEDO, R., MOINA, E., NARANJO, J. y BARCOS, M. "Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera". *Revista Bionatura* [en línea], 2017, 2 (4), pp. 437-441. ISSN 13909355. DOI 10.21931/RB/2017.02.04.5. Disponible en: https://www.revistabionatura.com/pluginAppObj/pluginAppObj_163_03/Bionatura.-Vol-2-No-4--2017-ONLINE.pdf#page=25

PABÓN, S., BENÍTEZ, R., SARRIA, R. y GALLO, J. "Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción". *Entre Ciencia e Ingeniería* [en línea], 2020, 14 (27), pp. 9-18. DOI <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>

PÉREZ, G., ARRIOLA, J., GARCÍA, T., SALDAÑA, M.L. y MENDOZA, J.C. "Evaluación de la calidad del agua de cuatro Jagüeyes del parque estatal “Flor del Bosque”, Puebla, México". *Revista Ra Ximhai* [en línea], 2016, 12 (4), pp. 153-168. ISSN 1665-0441. DOI 10.35197/rx.12.01.e1.2016.09.gp. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/461/46146927009.pdf>

POZO MIRANDA, Francisco. "Presencia de metales pesados Cadmio y Plomo en el estuario del río Chone Manabí, Ecuador". *Ciencia UNEMI* [en línea], 2017, 10 (24), pp. 123-130. ISSN 1390-4272. DOI 10.29076/issn.2528-7737vol10iss24.2017pp123-130p. Disponible en: <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/565/432>

QUISPE, R., QUISPE, G., CHUI, H., CÁCERES, S., CALATAYUD, A. y YÁBAR, P. "Concentración De Metales Pesados: Cromo, Cadmio Y Plomo En Los Sedimentos Superficiales En El Río Coata, Perú". [en línea], 2019, 36 (1), pp. 83-90. ISSN 0250-5460. DOI 10.34098/2078-3949.36.2.3. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/pdf/rbq/v36n2/v36n2_a03.pdf

REYES, Y., VERGARA, I., TORRES, O., DÍAZ, M. & GONZÁLEZ, E. "contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria". Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo [en línea], 2016, 16 (2), pp. 66-77. ISSN 2422-4324. DOI 10.1007/BF02796157

RODRÍGUEZ HEREDIA, Dunia. "Intoxicación ocupacional por metales pesados". Medisan [en línea], 2017, 21 (12), pp. 3372-3385. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012

RODRÍGUEZ ESTIVAL, Jaime. Contaminación por plomo en caza mayor y ganadería en la zona minera del Valle de Alcudia y Sierra Madrona: uso de biomarcadores para el estudio de efectos subletales (Tesis) (Doctoral) [en línea]. Instituto de Investigación en Recursos Cinegéticos, Universidad de Castilla - La Mancha. 2012, p. 6. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/147177/1/contaminacionmineraganadera.pdf>

SALAS URVIOLA, Fernando. "Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno - Perú". Revista Investig. (Esc. Posgrado) [en línea], 2014, 5 (4), pp. 47-53. Disponible en: <http://www.revistaepgunapuno.org/index.php/investigaciones/article/view/14>

TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE (TULSMA). 2018. [en línea]. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/TEXTO-UNIFICADO-DE-LEGISLACION-SECUNDARIA-DE-MEDIO-AMBIENTE.pdf>

UBILLUS LIMO, Julio. Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara (Tesis) (Pregrado) [en línea]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú, 2003, p. 14. Disponible en: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/ubillus_lj/cap3.pdf

VAN TEIJLINGEN, K. "Minería a gran escala, pluralismo territorial y contención: Un mapeo de encuentros y desencuentros en la amazonía ecuatoriana". Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandina [en línea], 2019, pp. 275-299. DOI 10.22199/issn.0718-1043-2019-

VELLOSA, M., MASSAINE, G., MOLEDO DE SOUZA, D., SOLIS, O., ROSERO, B., GALARZA, E., TUBA, D., CARPINTERO, N., OCHOA, V. & CIPRIANI, I. "Un enfoque integrador para identificar los impactos de múltiples fuentes de contaminación por metales en el piedemonte andino oriental de la Amazonía ecuatoriana". *Ciencia del Medio Ambiente Total* [en línea], 2020, 709, pp. 136088. ISSN 0048-9697. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136088>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971936084X>

VILLA ACHUPALLAS, Mercedes., ROSADO, Daniel., AGUILAR, Silvio & GALINDO, María. "Calidad del agua en el hotspot de los Andes tropicales: el río Yacuambi (sureste de Ecuador)". *Science of the Total Environment* [en línea], 2018, 633, pp. 50-58. DOI 10.1016 / j.scitotenv.2018.03.165

ANEXOS

ANEXO A: ETIQUETA DE LAS MUESTRAS

| | |
|----------------------------|--|
| Punto de la muestra | |
| Código | |
| Fecha | |
| Muestreador | |

Realizado por: Meibelline Brito

ANEXO B: CONSERVACIÓN DE MUESTRAS



Realizado por: Meibeline Brito

ANEXO C: TOMA DE MUESTRAS



Realizado por: Meibelline Brito

ANEXO D: TABLA 2 DEL ACUERDO MINISTERIAL 097-A

| TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS | | | | |
|--|--|-----------------|---|---------------------------|
| PARÁMETROS | Expresados como | Unidad | Criterio de calidad | |
| | | | Agua dulce | Agua marina y de estuario |
| Aluminio ⁽¹⁾ | Al | mg/l | 0,1 | 1,5 |
| Amoniaco Total ⁽²⁾ | NH3 | mg/l | - | 0,4 |
| Arsénico | As | mg/l | 0,05 | 0,05 |
| Bario | Ba | mg/l | 1,0 | 1,0 |
| Berilio | Be | mg/l | 0,1 | 1,5 |
| Bifenilos Policlorados | Concentración de PCBs totales | µg/l | 1,0 | 1,0 |
| Boro | B | mg/l | 0,75 | 5,0 |
| Cadmio | Cd | mg/l | 0,001 | 0,005 |
| Cianuros | CN | mg/l | 0,01 | 0,01 |
| Cinc | Zn | mg/l | 0,03 | 0,015 |
| Cloro residual total | Cl ₂ | mg/l | 0,01 | 0,01 |
| Clorofenoles ⁽³⁾ | | mg/l | 0,05 | 0,05 |
| Cobalto | Co | mg/l | 0,2 | 0,2 |
| Cobre | Cu | mg/l | 0,005 | 0,005 |
| Cromo total | Cr | mg/l | 0,032 | 0,05 |
| Estaño | Sn | mg/l | | 2,00 |
| Fenoles monohídricos | Expresado como fenoles | mg/l | 0,001 | 0,001 |
| Aceites y grasas | Sustancias solubles en hexano | mg/l | 0,3 | 0,3 |
| Hidrocarburos Totales de Petróleo | TPH | mg/l | 0,5 | 0,5 |
| Hierro | Fe | mg/l | 0,3 | 0,3 |
| Manganeso | Mn | mg/l | 0,1 | 0,1 |
| Materia flotante de origen antrópico | visible | | Ausencia | Ausencia |
| Mercurio | Hg | mg/l | 0,0002 | 0,0001 |
| Níquel | Ni | mg/l | 0,025 | 0,1 |
| Oxígeno Disuelto | OD | % de saturación | > 80 | > 60 |
| Piretroides | Concentración de piretroides totales | mg/l | 0,05 | 0,05 |
| Plaguicidas organoclorados totales | Organoclorados totales | µg/l | 10,0 | 10,0 |
| Plaguicidas organofosforados totales | Organofosforados totales | µg/l | 10,0 | 10,0 |
| Plata | Ag | mg/l | 0,01 | 0,005 |
| Plomo | Pb | mg/l | 0,001 | 0,001 |
| Potencial de Hidrógeno | pH | unidades de pH | 6,5 – 9 | 6,5 – 9,5 |
| Selenio | Se | mg/l | 0,001 | 0,001 |
| Tensoactivos | Sustancias activas al azul de metileno | mg/l | 0,5 | 0,5 |
| Nitritos | NO ₂ | mg/l | 0,2 | |
| Nitratos | NO ₃ | mg/l | 13 | 200 |
| DQO | DQO | mg/l | 40 | - |
| DBO5 | DBO ₅ | mg/l | 20 | - |
| Sólidos Suspendedos Totales | SST | mg/l | max incremento de 10% de la condicion natural | - |

⁽¹⁾ Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l
⁽²⁾ Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce
⁽³⁾ Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 ug/l

ANEXO E: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ARSÉNICO

| RESULTADOS | | | | |
|------------|--------------|-------------------|--------|-----------------------------------|
| PARÁMETRO | MÉTODO | FECHA REALIZACIÓN | UNIDAD | MUESTRA NO. 1 PM2-01 492/01/21 |
| * ARSENICO | SM 3120 ICP | 13/12/2021 | ug/l | <30 |
| * MERCURIO | SM 3120 ICP | 13/12/2021 | ug/l | <6 |
| PLOMO | PEE/LS/AI/04 | 13/12/2021 | ug/l | <50 |
| PARÁMETRO | MÉTODO | FECHA REALIZACIÓN | UNIDAD | MUESTRA NO. 1 PM2-02 492/02/21 |
| * ARSENICO | SM 3120 ICP | 13/12/2021 | ug/l | <30 |
| * MERCURIO | SM 3120 ICP | 13/12/2021 | ug/l | <6 |
| PLOMO | PEE/LS/AI/04 | 13/12/2021 | ug/l | <50 |
| PARÁMETRO | MÉTODO | FECHA REALIZACIÓN | UNIDAD | MUESTRA NO. 3 PM2-03 492/03/21 |
| * ARSENICO | SM 3120 ICP | 13/12/2021 | ug/l | <30 |
| * MERCURIO | SM 3120 ICP | 13/12/2021 | ug/l | <6 |
| PLOMO | PEE/LS/AI/04 | 13/12/2021 | ug/l | <50 |
| PARÁMETRO | MÉTODO | FECHA REALIZACIÓN | UNIDAD | MUESTRA NO. 4 PM2-04 492/04/21 |
| * ARSENICO | SM 3120 ICP | 13/12/2021 | ug/l | <30 |
| * MERCURIO | SM 3120 ICP | 13/12/2021 | ug/l | <6 |
| PLOMO | PEE/LS/AI/04 | 13/12/2021 | ug/l | <50 |

ANEXO F: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE PLOMO

| RESULTADOS DE ANÁLISIS | | | | |
|------------------------|--------|-----------|-------|----------------------------------|
| Parámetro | Unidad | Resultado | LMP | Método de ensayo |
| Fisicoquímicos | | | | |
| Plomo * | mg/L | 0,004 | 0,001 | T-LB-111, EAA - Horno de Grafito |

ANEXO G: CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE NORMATIVA



esPOCH | Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

*UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL*

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20 / 06 / 2022

| |
|---|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S) |
| Nombres – Apellidos: Meibelline Alexandra Brito Tucto |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL |
| Facultad: Ciencias |
| Carrera: Ingeniería Ambiental |
| Título a optar: Ingeniera Ambiental |
| f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc. |



1205-DBRA-UTP-2022

