



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

INFORME FINAL DEL PROYECTO

TEMA:

“Evaluación de la concentración de Mercurio (Hg) en agua y peces del río Mira. parroquia Lita”

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

Gestión sostenible y aprovechamiento de los recursos naturales.

SUBLINEA: Ambiente y biodiversidad

AUTOR: SOFIA LISBETH PABÓN PASPUEZÁN

ASESOR: MSc. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

IBARRA, FEBRERO 2024

Ibarra, 5 de febrero de 2024

MSc. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.



(f).....

MSc. MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS

C.C.: 1001743721

PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):



(f).....

MSc. Moraima Cristina Mera Aguas

C.C.: 1001743721



(f).....

PhD. Rubén del Toro

C.C.: 175754447-1



(f).....

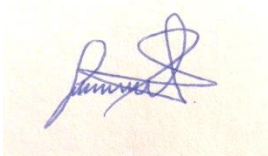
MSc. Santiago Mafla

C.C.: 1002658399

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo SOFIA LISBETH PABÓN PASPUEZÁN, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 5 de febrero de 2024



f):

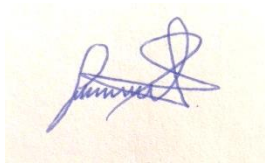
SOFIA LISBETH PABÓN PASPUEZÁN

C.C.: 1004712160

AUTORÍA

Yo, SOFIA LISBETH PABÓN PASPUEZÁN, portador de la cédula de ciudadanía N° 10047126-0, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

f):



SOFIA LISBETH PABÓN PASPUEZÁN

C.C.: 1004712160

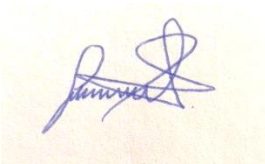
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, SOFIA LISBETH PABÓN PASPUEZÁN, con C.C.: 1004712160, autor del trabajo de grado intitulado: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO (Hg) EN AGUA Y PECES DEL RÍO MIRA. PARROQUIA LITA previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Ambiental, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, 5 de febrero de 2024



f):

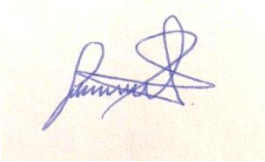
SOFIA LISBETH PABÓN PASPUEZÁN

C.C.: 1004712160

**DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN,
DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO (Hg) EN AGUA Y PECES DEL RÍO MIRA. PARROQUIA LITA, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 13 de febrero de 2023

Para constancia firma:



f):

Sofía Lisbeth Pabón Paspuezán

Estudiante que ejecuta el trabajo de Titulación

C.C/ Pasaporte: 1004712160

Carrera: Ingeniería Ambiental

Ibarra, 5 de febrero de 2024

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo principalmente a Dios, por haberme permitido llegar a esta etapa de vida profesional, dándome sabiduría, inspiración, fortaleza y salud para superar los desafíos y alcanzar esta meta en mi vida, a mis queridos padres, cuyo sacrificio, amor y apoyo inquebrantablemente han logrado que hoy me convierta en una profesional, gracias por inculcar en mí el ejemplo de perseverancia y esfuerzo.

A mi hijo Josué, te dedico este logro con todo mi amor y gratitud. Tu presencia ha sido mi mayor fuente de inspiración y motivación a lo largo de este arduo viaje académico. Que este logro sea un testimonio de que, con determinación y fe, todo es posible.

Sofía Lisbeth

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo.

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a mis padres por haber confiado en mí, cuyo apoyo incondicional y sacrificios incansables han sido la base de mi educación y el motor impulsor de mi vida académica. Gracias por creer en mis sueños tanto como yo.

A mi asesora de tesis MSc. Moraima Mera, cuya orientación experta, apoyo incondicional y sabios consejos fueron fundamentales en la culminación de este proyecto. Su paciencia y dedicación han sido una inspiración para mí.

A mi familia y amigos, cuyo constante aliento, comprensión y apoyo emocional me han brindado la fortaleza necesaria para superar los desafíos que se presentaron en el transcurso de este proceso.

Agradezco también a las instituciones y personas que brindaron su colaboración y facilitaron el acceso a la información necesaria para llevar a cabo esta investigación.

Por último, agradezco a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, que fue la que me formó como una buena profesional durante toda mi vida universitaria y por brindarme las herramientas y recursos necesarios para realizar este trabajo.

Sofía Lisbeth

ÍNDICE

PORTADA	
CERTIFICA:	ii
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS	iv
AUTORÍA	v
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN	vi
DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO II	5
OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo general	5
2.2. Objetivos específicos	5
2.3.Pregunta directriz	5
CAPÍTULO III	6

ESTADO DEL ARTE	6
3.1.	6
3.2.	8
3.3.	10
3.4.	12
3.5.	15
3.5.1	15
3.5.2	15
3.6.	17
3.7.	18
3.7.1.	18
3.7.2.	19
3.7.3.	19
3.7.4.	19
3.7.5.	20
3.8.	20
3.9.	21
3.10.	21
CAPÍTULO IV	25
MATERIALES Y MÉTODOS	25
4.1. Fase 1: Investigación de campo	25
4.1.1. Materiales de campo	25
4.1.2. Método descriptivo	26
4.1.3. Recolección de muestras	27
4.1.3.1. Agua	27

4.1.3.2. Peces	27
4.1.4. Población y muestra	28
4.1.5. Localización del área de estudio	28
4.1.6. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo	29
4.2. Fase 2: Método experimental	30
4.2.1. Materiales de laboratorio	30
4.2.2. Proceso experimental	31
4.2.3. Ubicación geográfica de la fase experimental	32
CAPÍTULO V	33
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
5.1. Fase 1. Investigación de campo	33
5.1.1. Encuesta aplicada a los pescadores de la parroquia Lita	33
5.1.2. Observaciones en los puntos de muestreo	43
5.2. Fase 2. Método experimental	48
5.2.1. Agua del río Mira	48
5.2.1.1. Parámetros físicos	48
5.2.1.2. Mercurio en muestras de agua	53
5.2.2. Peces del río Mira	54
5.2.2.1. Parámetros morfométricos	54
5.2.2.2. Concentración de Mercurio en el tejido muscular de peces	57
5.3. Discusión	59
CAPÍTULO VI	60
CONCLUSIONES	60
CAPÍTULO VII	61
RECOMENDACIONES	61

CAPÍTULO VIII	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales orígenes de metales pesados.....	24
Tabla 2 Dosis letal en dieta humana y efectos establecidos por la USEPA.....	25
Tabla 3 Efectos de los metales pesados en río.....	27
Tabla 4 Ejemplos de metales pesados en carne de peces.....	29
Tabla 5 Metodologías analíticas para determinar mercurio.....	33
Tabla 6 Límites permisibles para mercurio.....	38
Tabla 7 Materiales para toma de muestras de agua.....	40
Tabla 8 Materiales para la captura de peces.....	40
Tabla 9 Coordenadas Geográficas de los puntos de muestreo en la parroquia Lita.....	44
Tabla 10 Materiales, equipos y reactivos para muestras de agua.....	45
Tabla 11 Materiales, equipos y reactivos para muestras de peces.....	46
Tabla 12 pH del agua.....	49
Tabla 13 Temperatura del agua.....	49
Tabla 14 Conductividad eléctrica del agua.....	49
Tabla 15 Turbidez del agua.....	50
Tabla 16 Color del agua.....	50
Tabla 17 Contenido de mercurio en muestras de agua.....	50
Tabla 18 Pesaje total de los peces.....	51
Tabla 19 Longitud estándar de los peces.....	52
Tabla 20 Longitud total de los peces.....	52

Tabla 21 Contenido de mercurio en tejido muscular del Sábalo.....52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: <i>Ubicación geográfica de los puntos de muestreo</i>	47
Figura 2: <i>Ubicación geográfica de la fase experimental</i>	50
Figura 3 <i>Especie de pez que más se pesca</i>	51
Figura 4 <i>Porcentaje de días a la semana que pescan</i>	52
Figura 5 <i>Valoración del pescado capturado</i>	53
Figura 6 <i>Cantidad de peces capturados a la semana</i>	54
Figura 7 <i>Cantidad de peces capturados a la semana</i>	55
Figura 8 <i>Comercialización de los peces capturados</i>	56
Figura 9 <i>Comercialización de los peces capturados</i>	57
Figura 10 <i>Frecuencia de consumo de peces</i>	58
Figura 11 <i>Conocimiento de la pesca hace 20 años atrás</i>	59
Figura 12 <i>Percepción visual del deterioro del río Mira</i>	60
Figura 13 <i>Vista general del Río Mira en el P1</i>	62
Figura 14 <i>Vista general del Río Mira en el P2</i>	62
Figura 15 <i>Vista general del Río Mira en el P3</i>	63
Figura 16 <i>Flujo turbulento y presencia de basura</i>	65
Figura 17 <i>Presencia de personas pescando en el Río Mira</i>	66
Figura 18 <i>pH del agua del río Mira</i>	67
Figura 19 <i>Temperatura del agua del río Mira</i>	67

Figura 20	<i>Conductividad eléctrica del agua del río Mira.....</i>	68
Figura 21	<i>Turbidez del agua del río Mira.....</i>	69
Figura 22	<i>Color del agua del río Mira.....</i>	70
Figura 23	<i>Pesaje total de los peces.....</i>	72
Figura 24	<i>Longitud estándar de los peces.....</i>	73
Figura 25	<i>Longitud total de los peces.....</i>	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta aplicada a los pescadores de la parroquia Lita.....	83
Anexo 2. Registro Fotográfico.....	84

RESUMEN

En el Ecuador las actividades mineras son una fuente de contaminación para las fuentes hídricas debido a la liberación de metales pesados dentro de ríos cercanos y por la cual puede ingresar en animales como los peces a través del tracto digestivo. En esta investigación se evaluó los niveles de contaminación por mercurio (Hg) en peces y agua del Río Mira en la parroquia Lita, ya que es una zona donde se presenta actividad minera importante siendo su agua empleada para el riego y los peces consumidos por la población. La metodología aplicada fue descriptiva – cuantitativa con un muestreo no probabilístico a criterio del investigador para lo cual se escogió a 150 pescadores que más realizan esta actividad. De esta manera se identificaron tres comunidades considerando a cada una de ellas un punto de muestreo, obteniendo 18 muestras tanto de agua como de peces, para la muestra de agua se siguió lo establecido por la norma NTE 2176 y para los peces la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 183:2013. La concentración de mercurio se determinó mediante espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros, método EPA 245.1 (agua) y AOAC 977.15 (peces). Los resultados revelaron que el pez más capturado y consumido es el Sábalo predominando en un 33% de respuestas, seguid por la Sabaleta (21%) representado estas especies más del 50% de la muestra.

En relación con la concentración de mercurio en el tejido del pez sábalo, se verifica que los niveles no superan los 0,5 mg/kg de acuerdo con la normativa NTE-INEN 183:2013. Es importante destacar que el valor específico de la concentración de mercurio en este tejido fue aún más bajo, registrándose como <0,0044 mg/kg, en cuanto a la concentración en agua se obtuvieron resultados que llegaron al límite de cuantificación del equipo, específicamente <0,00044 mg/kg, por lo que no se pudo verificar si existen concentraciones más pequeñas a las registradas.

Palabras clave: *Río Mira, concentración de mercurio, calidad del agua*

ABSTRACT

In Ecuador, mining activities pose a source of contamination to water sources due to the release of heavy metals into nearby rivers, which can enter animals such as fish through the digestive tract. This research aimed to assess mercury (Hg) pollution levels in both fish and water from the Mira River in the Lita parish, considering its significant mining activity and the use of its water for irrigation, with the fish being consumed by the local population. The methodology employed was descriptive-quantitative, utilizing non-probabilistic sampling based on the researcher's criteria, involving 150 fishermen who are actively engaged in fishing. Three communities were identified, with each considered a sampling point, resulting in a total of 18 samples for both water and fish. Water samples followed the guidelines of the NTE 2176 standard, while fish samples adhered to the Ecuadorian Technical Standard NTE-INEN 183:2013. Mercury concentration was determined using atomic absorption spectrophotometry with a hydride generator, employing the EPA 245.1 method for water and the AOAC 977.15 method for fish. The results revealed that the most captured and consumed fish species was the Sábalo, representing 33% of responses, followed by the Sabaleta (21%), collectively constituting more than 50% of the sample. Regarding the concentration of mercury in the tissue of the Sábalo fish, it was found that the levels did not exceed 0.5 mg/kg in accordance with the NTE-INEN 183:2013 standard. It is noteworthy that the specific value of mercury concentration in this tissue was even lower, recorded as <0.00044 mg/kg. As for the concentration in water, results reached the limit of quantification of the equipment, specifically <0,0044 mg/kg, making it impossible to verify if there are concentrations smaller than those recorded.

Keywords: *Mira River, mercury concentration, water quality*

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación por mercurio (Hg) es motivo de gran preocupación internacional debido a sus propiedades únicas, como el transporte global, la persistencia, la bioacumulación, la alta toxicidad y sus efectos negativos en la seguridad alimentaria (Blanchfield et al., 2022). Sin embargo, el principal problema es la actividad humana que implica la liberación de grandes cantidades de mercurio al medio ambiente, el cual puede permanecer allí durante muchos años (Michalski et al. 2019).

El Rio Lita, su ubicación exacta está en la vía a Ibarra, los metros de largo oscila entre 10 a 20 metros, el mismo que empieza desde Cotacachi. Por otro lado, su clima es seco, y tiene un promedio de temperatura de 18 grados centígrados, lo cual genera un atrayente turístico muy variado, ya que cuenta con una flora y fauna muy variada. Su extensión es aproximadamente de 42km de y termina uniéndose con el Rio Mira que está ubicado en la Bocana.

Con base en lo antes expuesto la presente investigación se realizó con la finalidad de evaluar si la concentración de Hg en el agua y peces del Río Mira en el tramo parroquia Lita se encuentra dentro de los límites máximos permisibles de la normativa ambiental vigente. Es por ello que se determinó la especie representativa mayormente capturada y consumida por la población, luego se evaluó la concentración de mercurio en muestras de agua y tejido del pez más representativo para finalmente presentar estos resultados.

Dentro del proceso de investigación en el Capítulo II se presentan los objetivos, el mismo que busca evaluar los niveles de contaminación por mercurio (Hg) en peces y agua del Rio Mira en la parroquia Lita. Poder también determinar especies que son capturadas y consumidas por la población, evaluar, la concentración de mercurio, y por último analizar el tejido del pez más representativo y determinar el nivel de mercurio que tiene esta especie.

Para poder tener mayor información acerca de la problemática, se desarrolló procesos investigativos en bases a artículos científicos, revistas, libros, tesis, basados en temas que tengan el mismo interés sobre la investigación que se está realizando. Tomando en cuenta temas como metales pesados, características del mercurio, incorporación de metales pesados en ríos y peces, y

el marco normativo, lo cual habla sobre el Artículo 154, el mismo que habla sobre la atribución que tienen los ministros de estado y el ministerio de ambiente en ejercer políticas públicas que busquen resoluciones administrativas.

Es así que la metodología incluyó un estudio descriptivo aplicado a una muestra de 150 personas aplicando una encuesta por medio del muestreo no probabilístico. De esta manera el estudio se dividió en la Fase 1

Investigación de campo en la cual se establecieron los materiales necesarios, así como el establecimiento de tres puntos de muestreo. La Fase 2 Método experimental se definieron las variables a estudiar y las técnicas para establecer las concentraciones de Hg siendo el método de la EPA 245.1 (agua) y el método AOAC 977.15 (peces).

El alcance de la investigación determinó las concentraciones de Hg en el agua y peces dentro de los tres puntos de muestreo con lo que se presentaron las conclusiones y recomendaciones. Cabe recalcar que la falta de conocimiento acerca de los problemas ambientales relacionados con la contaminación de fuentes hídricas fue una limitación en la ejecución de la presente investigación.

La investigación sobre la presencia de mercurio en peces y agua del río Mira es crucial para salvaguardar la salud humana, preservar la biodiversidad acuática, asegurar el cumplimiento de regulaciones ambientales y promover la gestión sostenible de los recursos acuáticos.

Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones, las mismas que están basadas en relación a los objetivos que fueron presentados en esta investigación, obteniendo como resultado crear soluciones medioambientales frente a actividades de minería ilegal, y poder preservar la flora y fauna que se existe en el lugar.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar los niveles de contaminación por mercurio (Hg) en peces y agua del Río Mira en la parroquia Lita.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la especie representativa mayormente capturada y consumida por la población.
- Evaluar la concentración de mercurio en muestras de agua del Río Mira en la parroquia Lita.
- Evaluar la concentración de mercurio en el tejido del pez más representativo de la zona.

2.3. Pregunta directriz

¿La concentración de mercurio (Hg) en el agua y peces del Río Mira en el tramo parroquia Lita se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la normativa ambiental vigente?

CAPÍTULO III

ESTADO DEL ARTE

3.1. Antecedentes

El objetivo de la investigación desarrollada por Teles et al. (2021) fue evaluar la bioacumulación de mercurio en 13 especies de peces con diferentes hábitos alimenticios, capturados en el Embalse de Tres Mariás, Cuenca de São Francisco, de marzo de 2012 a abril de 2013. Los resultados obtenidos mostraron que las especies con alimentación carnívora hábito presentaron las mayores concentraciones promedio de mercurio en músculo, en especial *Serrasalmus brandtii* (pirambeba) y *Pygocentrus* piraña (piraña), con concentraciones de $0.4147 \pm 0.2744 \mu\text{g g}^{-1}$ y $0.17774 \pm 0.2980 \mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente. Considerando las concentraciones medias, todas las especies estudiadas presentaron niveles de mercurio por debajo del límite máximo de $0,5 \mu\text{g g}^{-1}$ en peces no depredadores y de $1,0 \mu\text{g g}^{-1}$ en peces depredadores, establecido por la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria.

Teniendo en cuenta cada especie, los valores mínimos y máximos de mercurio en los tejidos muscular y hepático mostraron una amplia dispersión. En 4% de los ejemplares de pirambaba y 7% de piraña, los contenidos de mercurio en el músculo excedieron el límite establecido por la ANVISA para peces depredadores, y, por lo tanto, no eran aptos para el consumo humano. Las demás especies no presentaron muestras de músculo con contenido de Hg superior al establecido por ley. Debido a su hábito carnívoro y a su amplia distribución en la Cuenca del São Francisco, *Serrasalmus brandtii* puede ser considerado un biomonitor, capaz de bioacumular mercurio, indicando así el nivel de contaminación en el medio acuático en el que vive.

En el estudio de Jablonska y Kluska (2019) se presentan los resultados de la investigación sobre la dinámica de los cambios en la concentración de mercurio en aguas superficiales. La importancia del mercurio como contaminante ambiental resulta de las propiedades específicas de este metal, muchas fuentes de contaminación, volatilidad, movilidad, estabilidad y alta toxicidad de sus formas químicas específicas. Se analizaron muestras de agua superficial recolectadas de tres ríos: el Bug, el Liwiec y el Muchawka. El río Muchawka desemboca en el río Liwiec, que a su vez es un afluente del río Bug. Se empleó la técnica de isotacoforesis, utilizando como electrolito de

terminación una solución de un derivado biodegradable y no tóxico para el medio ambiente de silanatos estabilizados electrostáticamente. La concentración de mercurio promedio más alta de 0,89 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ se determinó en muestras de agua recolectadas del río Bug en enero, mientras que la concentración más baja de 0,42 $\mu\text{g}/\text{dm}^3$ se registró en agua recolectada del río Muchawka en septiembre.

En el estudio de Kim et al. (2020) se determinó que existen dos métodos para cuantificar el metilmercurio (MeHg) en el pescado mediante la detección por captura de electrones (ECD) mediante GC: el método oficial 988.11 de AOAC INTERNATIONAL y el método del Código alimentario coreano (KFC). Ambos métodos consumen una gran cantidad de productos químicos y requieren largos tiempos de pretratamiento debido a varios pasos complicados de extracción de MeHg. Por lo que, en este estudio se desarrolló un nuevo método para la determinación sencilla y rápida de MeHg en peces. El método se basa en la investigación de la combustión de oxígeno-amalgama de oro utilizando un analizador directo de mercurio (DMA) después de la eliminación completa de MeHg mediante extracción orgánica y retroextracción a un medio acuoso. Métodos: El DMA es adecuado para el análisis de materiales sólidos y líquidos y tiene un buen límite de detección.

El método desarrollado se validó comparando las recuperaciones de MeHg (%) tanto de los materiales de referencia certificados como de las muestras de pescado compradas en el mercado con la concentración de MeHg obtenida mediante el método KFC. Resultados: Se establecieron los siguientes parámetros pertenecientes al método desarrollado: límite de detección, 1,02 $\mu\text{g}/\text{kg}$; LOQ, 3,09 $\mu\text{g}/\text{kg}$; linealidad (r), 0,9998; rango, 0.1–300 $\mu\text{g}/\text{kg}$; y recuperación, 95–97%. Conclusiones: Nuestro método es una alternativa prometedora en virtud de su procedimiento de pretratamiento de muestras mucho más simple y rápido, con una recuperación de MeHg tan alta como la del método KFC. Aspectos destacados: El método desarrollado permite el análisis simultáneo de Hg total y MeHg con solo equipo DMA.

En México se efectuó un estudio desarrollado por Arizpe et al. (2017) que tuvo como objetivo determinar la presencia de mercurio en pescados seleccionando los pescados debido a su alto consumo en la población. Para lo cual se utilizó la espectroscopia de absorción atómica. Obteniendo la presencia de mercurio en todas las muestras, las concentraciones más altas se

presentaron en el bagre 0,33 mg/ml mientras que en Pez sierra 0,19 mg/ml, Robalo 0,15 mg/ml y Mojarra 0,23 mg/ml. Los resultados obtenidos mostraron que la totalidad de los peces analizados mostraron una concentración de mercurio menor a la permitida, no obstante, se destaca que este elemento puede acumularse en el organismo humano generando en el mediano plazo problemas de salud.

A nivel nacional se tiene el estudio de Bustamante (2021) en el cual se efectuó un análisis de mercurio en 45 muestras de pescado Pargo (*Lutjanus colorado*), en el cual se clasificó el tamaño del pez, luego se efectuó la determinación por la técnica de vapor frío acoplado a espectrofotometría de fluorescencia atómica. Obteniendo como resultado que el límite de detección y cuantificación que se obtuvo fue de 0,1 y 0,2 $\mu\text{g. L}^{-1}$ respectivamente y aunque se obtuvo valores altos de mercurio, estos no superaron los límites permisibles establecidos por el Codex Alimentarios.

Dentro del artículo publicado en la Revista Vistazo por Pérez (2020) se destaca que en los ríos Mira y Mataje se requiere una terapia para asegurar la conservación de estas fuentes hídricas. En esta investigación resalta que estos ríos han sido sometidos a una fuerte presión minera, con expansión agrícola y descarga de aguas residuales. Es así que se resalta que existe minería ilegal y que la población de esta zona depende de esta fuente hídrica para el desarrollo de sus actividades productivas. Además, se evidencia que no existe un estudio acerca del impacto de la minería, así como concentraciones de metales pesados como el mercurio.

3.2. Metales pesados

Se conoce como un metal pesado a aquellos elementos que se encuentran en la corteza terrestre. Es así que algunos de estos son esenciales como el Cobre o Zinc para funciones específicas dentro del metabolismo del cuerpo humano. De esta manera en cantidades razonables constituyen oligoelementos funcionales, pero en cantidades altas pueden ocasionar envenenamiento. Por ello se consideran como peligrosos debido a su tendencia de acumularse en los organismos vivos por lo que las concentraciones de estas sustancias químicas pueden aumentar en el tiempo dentro de un organismo a comparación de su concentración en el ambiente (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016). En la siguiente tabla se encuentran los metales pesados y sus orígenes.

Tabla 1*Principales orígenes de metales pesados*

Origen de contaminación	Metal pesado
Obtención metales ferrosos	Cadmio, Cobre, Níquel, Cromo, Cobalto, Zinc
Extracción de minerales	Arsénico, Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo, Zinc
Metalurgia	Cromo, Cobre, Magnesio, Plomo, Estroncio, Zinc
Fundición	Arsénico, Cadmio, Plomo, Talio
Aceros y aleaciones	Plomo, Molibdeno, Cobre, Cadmio, Níquel, Zinc, Arsénico, Telurio, Uranio
Incineración residuos	Zinc, Cobre, Cadmio, Plomo, Níquel, Cromo, Mercurio, Magnesio
Corrosión de metales	Hierro, Cromo, Zinc, Cobalto, Níquel, Plomo
Galvanizados	Cobre, Zinc, Níquel, Cromo
Pigmentos y pinturas	Zinc, Plomo, Cromo, Arsénico, Bario
Baterías	Mercurio, Cadmio, Níquel, Zinc, Estroncio, Plomo
Restos electrónicos	Magnesio, Níquel, Plomo, Cadmio, Mercurio, Oro, Cromo
Ganadería y agricultura	Cobre, Cadmio, Cobre, Magnesio, Vanadio, Molibdeno

Nota. Tomado de Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión de Ingeniería y región, por Rubio et al., (2015).

La contaminación por origen antropogénico es la intervención del hombre dentro de los ciclos biogeoquímicos de los metales pesados, pero a nivel industrial es difícil encontrar productos que no contengan un metal pesado. A su vez, la agricultura se conoce como una fuente de interés de estos elementos debido al uso de fertilizantes químicos y biológicos, así como derivados de desechos y estiércol de animal. En el caso de las descargas a fuentes hídricas se conoce que los efluentes de empresa que no presentan métodos de depuración son aquellos que se descargan directamente a los ríos, entre los metales se descargan Arsénico, Cadmio, Plomo, y Mercurio (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2020). Es así que en la siguiente tabla se presenta la dosis letal en humanos y su efecto según la USEPA.

Tabla 2*Dosis letal en dieta humana y efectos establecidos por la USEPA*

Metales pesados	Dosis letal humana (mg/día)	Efecto en humanos

Arsénico	50 – 340	Enfermedad vascular, cáncer visceral y manifestaciones cutáneas
Cadmio	1500 – 9000	Efecto carcinógeno, trastorno y daño renal
Cromo	3000 – 8000	Carcinógeno, dolor de cabeza, vomito, náuseas, diarrea
Cobre	175-250	Insomnio, enfermedad de Wilson, Daño hepático
Zinc	6000	Aumento de sed, depresión, signos neurológicos, letargo
Plomo	10000	Enfermedades neuronales, renales y vasculares, teratogenicidad cerebral
Mercurio	150 - 300	Enfermedades neuronales, renales y vasculares, Artritis reumatoidea

Nota. Tomado de Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión de Ingeniería y región, por Rubio et al., (2015).

3.3. Incorporación de metales pesados en ríos

Los metales pueden ser liberados de forma natural al agua, pero la principal fuente de contaminación es la acción del hombre. Esto ocasiona un serio problema para el ambiente, debido a que son tóxicos y acumulables en los organismos. De esta manera la contaminación ambiental de metales pesados en los ríos se debe a las actividades humanas, ya que, los ríos que se encuentran cerca de regiones industriales son aquellos con mayor ocurrencia de contaminación (Aportela & Paulino, 2020).

Es así que se puede encontrar la presencia de metales como Mercurio, Arsénico, Plomo, Cadmio, Zinc, Cromo, entre otros, esto se evidencia en sitios donde se desarrollan actividades como minería, agronomía, descargas industriales y sedimentos residuales (Armas, Acharte, Enríquez, & Asto, 2021).

La adición de elementos como los metales pesados ocasiona que se deteriore la calidad del agua por lo que al incorporarse contaminantes se genera un problema de preocupación mundial ya que, muchas de las causas están relacionadas con el aumento de la población, la expansión de las actividades industriales, así como las agrícolas y el cambio climático. Sin embargo, las operaciones destinadas a la elaboración agroalimentaria es una fuente significativa de aportes de contaminación a los ríos, siendo actualmente la acuicultura un problema importante que ha dado lugar a problemas relacionados con eutrofización y daños a los ecosistemas (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

Cuando los contaminantes ingresan en los cuerpos de agua, ya sea por vía natural o antropogénica estos causan efectos tóxicos sobre cualquier sistema acuático. En un ecosistema se corre el riesgo por contaminación ya que, interacciona con el agua y circula el contaminante libremente por las corrientes de agua con lo que se altera en gran medida la dinámica del agua. Esto no es el caso de contaminantes naturales estos están sujetos a ingresar con ciertos cuerpos de agua debido al ciclo del mismo que puede terminar vertido en las mimas. A diferencia de contaminantes artificiales que en su mayoría son desechos líquidos como sólidos que se incorporan a los ríos por sumideros provenientes de desechos industriales y sustancias químicas empleadas en la agricultura (Aportela & Paulino, 2020).

Dentro de los últimos años se estima que aproximadamente miles de sustancias de diferente composición se introducen en aguas naturales principalmente por vertidos, lo que altera en gran medida las características del agua como las organolépticas, así como perturbación a los ecosistemas acuáticos. Esta contaminación por metales pesados es perjudicial principalmente porque puede permanecer largos períodos luego de su vertido y que al alcanzar acuíferos pueden llegar hasta zonas de recarga hídricas como lagunas o humedales hasta inclusive agua de consumo (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016). En la siguiente tabla se presentan los efectos de la presencia de metales pesados en ríos.

Tabla 3

Efectos de los metales pesados en ríos

Efecto	Descripción
Bioacumulación	Todo metal pesado puede bioacumularse en los seres vivos y por lo que ingresa a las redes tróficas. Estos pueden adherirse al ser lipofílicos, con lo que se acumulan en el tejido grado del animal.
Biomagnificación	Los metales ascienden a todos los niveles de la red trófica desde la presa hasta el predador. Es por ello que los organismos van acumulando concentraciones de metales pesados en los organismos que va incrementando en función asciende en la escala, continuando hasta la cima.

Nota. Tomado de Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión de Entre Ciencia e Ingeniería, por Pabón et al., (2020).

En el caso de la contaminación por Mercurio estos pueden pasar directamente a la cadena trófica por lo que existen niveles superiores de contaminación dentro de los animales acuáticos que en el agua esto ya que, regularmente se incorporan residuos industriales, así como urbanos sin un tratamiento previo. En un sistema acuoso se regulan las tasas de adsorción, misma que puede remover el metal de la columna de agua. Por lo que, un incremento de la salinidad implica competencia para que el metal se mantenga ligado a la materia orgánica, siendo esta una causa de su persistencia (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

La contaminación de un medio acuoso por mercurio, se genera principalmente por procesos industriales, siendo este uno de los problemas ambientales más críticos, por lo tóxicos, bioacumulables y biomagnificables que son los metales como el mercurio. Este metal pesado se identifica como trazar de origen de residuos de actividades productivas siendo la minería una fuente puntual, como la industria, pero también puede provenir de fenómenos geológicos (Quispe, 2020).

3.4. Incorporación de metales pesados en peces

Dentro de los ecosistemas acuáticos es evidente que los metales pesados son un impacto sobre el medio ambiente que son generados por las actividades humanas, siendo estos contaminantes los más peligrosos para este tipo de ecosistemas. No solo desde la parte química sino también biológica debido a que no son degradables y permanecen tanto en animales como en el agua por cientos de años. Es por ello que su presencia es un indicador para que se limite el uso y explotación de animales que habitan en los ríos debido a la toxicidad y acumulación de los metales lo que se traduce en un problema ambiental y de salud pública (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

El mercurio al asentarse en el agua, independientemente del origen de este puede fluir libremente por todo el ecosistema acuático, por lo que peces y mariscos son los individuos que mayor exposición tienen frente al mercurio y por ende absorción de mercurio metálico. Los niveles de dicho compuesto dependerán en gran medida de la alimentación, el tiempo de permanencia y lo avanzado que se encuentren dentro de la cadena alimentaria. Esto debido a que las especies marinas tienden dentro de su organismo a acumular y transferir el mercurio a otros animales así este metal pesado se convierte en un agente genotóxico (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2020).

La liberación de metales pesados en el agua es un proceso natural en el cual se libera Mercurio, Plomo, Cadmio e inclusive Arsénico. Sin embargo, las concentraciones se incrementan exponencialmente cuando son ocasionados por actividades antrópicas. Al liberarse metales pesados en el agua de las fuentes hídricas estos se acumulan en los organismos que se alimentan de plancton y Fito plancton, por lo que ingresa a la cadena trófica (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

Uno de los metales con mayor preocupación al ingresar en los peces, es el Mercurio ya que este se acumula dentro de los músculos de estos animales en su forma más toxica, conocida como metilmercurio, por lo que puede biomagnificarse en una concentración mucho mayor a la que se encuentra en el agua (Vargas & Marrugo, 2019).

En los ambientes que han sido contaminados por uno o varios metales pesados se altera en gran medida la supervivencia de diferentes organismos y esto afecta en gran medida a toda la dinámica poblacional de las especies, así como su estructura y la función que cumplen en el ecosistema. Estas interacciones con metales pesados dependen también de la forma y especie química del metal, siendo de interés el pH, la condición oxido reductiva del agua, presencia de otras sustancias para formar compuestos químicos y varios factores climáticos (Esmeraldas & Zambrano, 2019). En la siguiente tabla se presentan algunos metales pesados e identificados en carne de peces en los cuales se acumulan.

Tabla 4

Ejemplos de metales pesados en carne de peces

Metal pesado	Carne de peces	Límite máximo (mg/kg)
Plomo	Todo pescado en general	0,30
Cadmio	pescados: caballa (<i>Scomber spp.</i>) atún (<i>Thunnus spp.</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i> , <i>Euthynnus spp.</i>) bichique (<i>Sicyopterus lagocephalus</i>)	0,10
	anchoa (<i>Engraulis spp.</i>) pez espada (<i>Xiphias gladius</i>) sardina (<i>Sardina pilchardus</i>)	0,25
	aligote (<i>Pagellus acarne</i>)	

Mercurio	sable negro (<i>Aphanopus carbo</i>) besugo (<i>Pagellus bogaraveo</i>) bonito (<i>Sarda sarda</i>) breca (<i>Pagellus erythrinus</i>) escolar negro (<i>Lepidocybium flavobrunneum</i>) fletán (<i>Hippoglossus spp.</i>) rosada del Cabo (<i>Genypterus capensis</i>) marlín (<i>Makaira spp.</i>) gallo (<i>Lepidorhombus spp.</i>) escolar (<i>Ruvettus pretiosus</i>) reloj anaranjado (<i>Hoplostethus atlanticus</i>) rosada (<i>Genypterus blacodes</i>) lucio (<i>Esox spp.</i>) tasarte (<i>Orcynopsis unicolor</i>) capellán (<i>Trisopterus spp.</i>) salmonete de fango (<i>Mullus barbatus barbatus</i>) granadero (<i>Coryphaenoides rupestris</i>) pez vela (<i>Istiophorus spp.</i>) sable plateado (<i>Lepidopus caudatus</i>) escolar de canal (<i>Gempylus serpens</i>) esturión (<i>Acipenser spp.</i>) salmonete de roca (<i>Mullus surmuletus</i>) atún (<i>Thunnus spp.</i> , <i>Euthynnus spp.</i> , <i>Katsuwonus pelamis</i>) tiburón (todas las especies) pez espada (<i>Xiphias gladius</i>)	1,0
----------	---	-----

Nota. Tomado de Contenidos máximos de metales pesados en determinados productos alimenticio de la Unión Europea. Reglamento (UE) 2023/0915

De esta manera se evidencia lo peligroso que pueden ser los metales pesados al ingresar en un ecosistema y los animales que sobreviven en los mismos. Esto se potencia debido a que al sedimentarse pueden continuar interviniendo dentro del ciclo hidrológico e incorporando nuevas concentraciones de metales pesados de a los ríos y por ende a los peces, por lo que es necesario el monitoreo, cuidado y protección de los ecosistemas acuáticos (Cadavid & Arango, 2020).

3.5. Mercurio

3.5.1 Características del Mercurio

El mercurio es uno de los metales elementales dentro de la naturaleza es liberado debido a la acción del ser humano, así como erosión de rocas y actividad volcánica. Dentro de la tabla periódica este es representado por el símbolo “Hg” con un número atómico de 80, este elemento puede encontrarse en tres formas: metilmercurio o compuestos orgánicos, mercurio elemental o metálico y compuestos inorgánicos (Cortes, 2017).

Entre sus principales propiedades se conoce que es un metal líquido, ligeramente volátil a temperatura ambiente, pesado y en estado sólido de color blanco. En el ambiente se lo conoce generalmente por estar en estado líquido inodoro y de color plateado, siendo un mal conductor de calor, pero no de electricidad. Este metal presenta aleaciones conocidas como amalgamas con el oro y plata, en lo que concierne a su solubilidad es soluble en ácido nítrico, pero no en agua y al incrementarse la temperatura produce vapores tóxicos y corrosivos (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

3.5.2 Toxicología del Mercurio y Efectos en la Salud Humana

Este metal al ser ingerido, inclusive en concentraciones bajas, ocasiona varios daños en la salud, ya que afecta directamente al sistema inmunológico y neurológico, pero también al sistema digestivo, piel, pulmones y riñones. Los efectos de la toxicidad del mercurio en los seres humanos dependen de la forma química del mercurio, la dosis, la edad de las personas expuestas, la duración de la exposición, la entrada en el cuerpo, la dieta de los peces y consumo de mariscos (Zulaikhah et al., 2020).

De esta manera es perjudicial en etapas de infancia o de embarazo. En el caso de la primera exposición a ciertas cantidades como la ingesta de peces con mercurio, se ha evidenciado retraso mental leve en los niños y en mujeres embarazadas al consumir metilmercurio el feto presenta deficiencias en la concentración, pensamiento cognitivo y hasta motricidad fina (Cadavid & Arango, 2020).

En los humanos la biocinética del mercurio y metilmercurio principalmente ingresan por el tracto gastrointestinal, sistema respiratorio, así como vía cutánea. En el caso del mercurio las especies orgánicas solo puede ingresar luego de ingerir matrices contaminadas y una absorción superior al 90%, que luego presenta un proceso de metabolización intracelular que impide su eliminación (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2020).

A su vez, el metilmercurio se une a la hemoglobina y debido a la afinidad de este con la hemoglobina fetal se concentra en la sangre del cordón umbilical, que a pesar que este se elimina por la orina es insuficiente este proceso, ya que puede estar en el organismo por 39 a 70 días (Vargas & Marrugo, 2019).

Es así que una de las presentaciones del mercurio como en vapor es absorbido directamente por los pulmones, en su estado líquido se absorbe por la vía gastrointestinal y por su gran liposolubilidad es difundido por todos los tejidos atravesando con facilidad toda la barrera hematoencefálica. La manera en la cual se mercurio se oxida es a ion mercúrico ya que, de esta manera pierde su capacidad de difundirse y luego es retenido por los glóbulos rojos, riñones y sistema nervioso central (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

En adultos el envenenamiento con mercurio es de importancia ya que, puede ocasionar daños a la fertilidad y regulación de la presión arterial con afección en la memoria, temblores y entumecimiento de manos y pies (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016). En el caso de la sangre al ingresar el mercurio a las vías sanguíneas este tiende a reducir su concentración con gran rapidez, con una semivida bifásica. Esto indica que la vía de excreción más representativa es la digestiva y con menor proporción por vías urinarias, respiratorias y sudoríparas. En la orina la semivida del mercurio es de aproximadamente 40 a 90 días, siendo este el marcador biológico para exposición crónicas (Quispe, 2020).

En lo concerniente a la salud humana el mercurio en el cuerpo es un radical libre que puede causar agotamiento de glutatión (GSH) y acumulación de H_2O , lo que acorta la edad de los eritrocitos y provoca hemólisis. Aproximadamente el 90% de la forma orgánica puede ser absorbida por la pared intestinal, mientras que las formas inorgánicas son solo alrededor del 10%. La forma inicial también puede penetrar la barrera sanguínea y placentaria por lo que puede causar efectos teratogénicos y trastornos nerviosos (Zulaikhah et al., 2020).

El mercurio puede unirse a las proteínas de sulfidril en las células, lo que da como resultado una lesión celular inespecífica o incluso la muerte celular, el cese de la formación de microtúbulos, la inhibición de enzimas, el estrés oxidativo, el cese de la síntesis de proteínas y ADN y las respuestas autoinmunes. Clasificado como un metal muy tóxico, el mercurio puede desencadenar la formación de ROS, peróxido de hidrógeno, peroxidación de lípidos, radicales hidroxilos que pueden inhibir enzimas, daño celular, daño de NA, daño de la estructura de proteínas, interrupción del metabolismo antioxidante del cuerpo, especialmente superóxido dismutasa (SOD) y glutatión peroxidasa (GPx) (Zulaikhah et al., 2020). La exposición al mercurio se asocia con un mayor riesgo de hipertensión, infarto de miocardio, disfunción coronaria, y aterosclerosis (Wang et al., 2020).

3.6. Evaluación de Mercurio

Este metal al presentarse en estado líquido, es pesado y ligeramente volátil cuando se encuentra a temperatura ambiente. En estado sólido es blanco por lo que puede encontrarse en la corteza terrestre siendo una de sus principales características su facilidad para conducir electricidad, solubilidad en ácido nítrico y al incrementar la temperatura puede producir vapores más pesados que el aire (Quispe, 2020).

Es así que uno de los métodos para detectar metales pesados es la espectrometría de absorción siendo esta una técnica en la cual se mide la longitud de onda de luz antes y después de la interacción con la muestra. En el caso de la espectrofotometría de absorción atómica se fundamenta en la capacidad de los elementos para absorber radiación electromagnética a una diferente luz por lo que el calentamiento hace que los metales disueltos puedan ser cuantificados (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

De esta manera la forma para determinar mercurio en agua como en peces, es la absorción atómica de vapor frío, con lo cual se puede analizar este metal. Es por ello que esta técnica analítica puede detectar y cuantificar este metal en solución con lo que los átomos absorben radiación en trazas que proviene de la lámpara y el resto de fracción se capta por el detector que lo convierte en señal eléctrica y se registra en un software (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

Chaves (2017) indica que las metodologías analíticas para determinar mercurio dentro de los pescados son de gran interés debido a su sensibilidad y fiabilidad, siendo estas variadas proporcionando información en ocasiones parcialmente para establecer el real impacto en la salud humana y el ambiente. Por ello existen varias que pueden separar las diversas especies de mercurio para indicar mercurio total, así como metilmercurio. En la siguiente tabla se indican los métodos más empleados y su límite de detección de mercurio.

Tabla 5

Metodologías analíticas para determinar mercurio

Metodología	Límite de detección de mercurio
Colorímetro de ditizona	0,01 a 0,1 mg/g
Espectrometría de absorción atómica:	0,01 a 1 1 ng/g
Análisis por activación neutrónica	1 a 10 ng/g
Radioquímica	0,01 a 1 ng/g,
Cromatografía gaseosa con detección de captura electrónica	0,01 a 0,05 ng/g,
Espectrometría de masas	0,1 ng/g,
Electroquímico	0,1 a 1 ng/mL
Espectrometría foto acústica	0,05 ng
Fluorescencia de rayos X	5 ng/g a 1 mg/g

Nota. Tomado de Metodologías analíticas utilizadas actualmente para la determinación de mercurio en músculo de pescado de Salud y medio ambiente, por Chaves (2017).

3.7. Espectrofotometría de absorción atómica

3.7.1. Atomización con llama

La técnica que emplea un atomizados es donde la disolución de una muestra es nebulizada por medio de gas oxidante que se mezcla con gas combustible y luego se transporta una llama en donde se genera la atomización. Es allí donde ocurre la de solvatación en donde se evapora el disolvente hasta que se produce un aerosol finamente dividido, en la atomización limita la precisión del método (Ucros & Araque, 2023).

3.7.2. Fuentes de radiación

Se emplea una lámpara de cátodo hueco que consiste en un ánodo de wolframio junto a un cátodo cilíndrico que se cierran herméticamente en un tubo de vidrio que contiene neón o argón. De esta manera el cátodo está conformado por el metal en el cual el espectro va a medir. Con la finalidad de que los átomos del metal se exciten son expuestos a voltaje tanto del ánodo como del cátodo (Requejo, 2023).

3.7.3. Vapor frío por generación continua de hidruros

Esta se considera como la metodología más empleada para determinar mercurio en diferentes tipos de muestra, debido a que el mercurio es uno de los elementos metálicos que poseen una presión de vapor elevada a temperaturas bajas y así es posible introducirse cuantitativamente dentro del espectrofotómetro (Rivera & Valencia, 2013).

Varios elementos como el Plomo, Selenio, Arsénico entre otros, cuando están en presencia de hidrógeno gaseoso forman hidruros covalentes. En el caso del Mercurio forma vapor monoatómico, por lo que hace que pueda determinarse con técnicas de vapor frío, y generación de hidruros. En la espectrofotometría determina elementos traza que se forman por vapor, debido a la separación del analito de matrices complejas y reduciendo las interferencias (Moscoso, 2003).

La espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío es una de las técnicas más conocidas y sencillas, pero posee ciertos límites en la detección cuando las muestras no presentan una cantidad considerable de mercurio en su concentración (Cortes, 2017). Es por ello que un generador de hidruros se emplea para alcanzar la sensibilidad requerida, que está basada en la reacción de Marsh y Gutzeit, que al emplear zinc como reductor con lo cual se dividen en tres etapas, la generación del hidruro, la transferencia de este y la atomización en el espectrofotómetro (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

3.7.4. Análisis cuantitativo

Un análisis de espectrofotometría de absorción atómica está regido por la Ley de Beer, en la cual la absorbancia de una solución se considera directamente proporcional con el camino óptico por el cual entre el medio y la concentración del adsorbente. Es así que se enfatiza en que al conocer

la absorbancia de una sustancia es posible conocer su concentración y se logra por medio de la curva de calibración (Esmeraldas & Zambrano, 2019).

3.7.5. Interferencias

Dentro de los análisis en espectrofotometría de absorción atómica se pueden suscitar interferencias que ocasionan errores dentro de la cuantificación. Con lo cual es necesario corregir para que no afecten los resultados, por lo que algunas interferencias pueden ser espectrales, químicas, por ionización y por matriz. En el caso de la primera se relaciona con estrechas líneas de absorción y emisión, ya que el analito absorbe una longitud de onda de 1 nanómetro. La interferencia química se produce por compuestos que no se atomizan fácilmente, a diferencia de la interferencia por ionización que son flamas muy calientes que provoca una disminución en la cantidad de átomos libres. Finalmente, por matriz es provocado por una matriz líquida que presenta diferente viscosidad y tensión superficial porque afecta la nebulización y cuantificación del analito (Requejo, 2023).

3.8. Método aplicado para el análisis de mercurio en peces

La evaluación de la concentración de mercurio en agua y peces, puede realizarse empleando el método AOAC 977.15 siendo este un análisis químico y cuantificación de mercurio en las muestras basado en la digestión ácida. Pinedo et al. (2013) indica que este proceso inicia sometiendo las muestras en ácido nítrico y sulfúrico, siendo el procedimiento diferente tanto para peces como para agua.

En el caso de peces la digestión se realiza pesando 1,5 gramos del tejido del animal, se agrega 5 ml de agua desionizada, así como 5 ml de ácido sulfúrico. Dentro del calentamiento de la muestra se añaden 2 ml de peróxido de hidrógeno al 30% gota a gota, luego de mezclas los ácidos son necesario que repose la muestra a temperatura ambiente por al menos 12 horas y posteriormente se filtra. Finalmente, se elabora una dilución tomando 150 microlitros de solución ácida y mezclándola con 10 ml de agua desionizada.

Es así que se puede cuantificar el mercurio empleando Espectrofotometría de Absorción Atómica con generador de hidruros, siendo este método el más empleado y con control de calidad para garantizar fiabilidad en los resultados.

3.9. Método EPA 245.1 para determinar mercurio en agua

La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) cuenta con un procedimiento normado para medir mercurio total orgánico e inorgánico dentro de aguas potables, superficiales, subterráneas y residuales. El rango del método varía de 0,2 a 10 microgramo de mercurio por litro, aunque este puede ampliarse aumentando o disminuyendo el tamaño de muestra, pero dependerá de las condiciones operativas y la configuración de la instrumentación (EPA, 1994).

Este método se basa en colocar una porción de una muestra de agua conocida en una botella de DBO, luego a un matraz con tapón de vidrio esmerilado. Con lo cual se digiere en soluciones diluidas de permanganato de potasio y persulfato de potasio con lo cual se oxida por al menos dos horas a 95 °C. Es así que el mercurio que se encuentra dentro de la muestra de agua digerida puede reducirse con cloruro de estaño a mercurio elemental y puede ser cuantificado por medio de la técnica de absorción atómica de vapor frío (Brousett, Rondan, Chirinos, & Biamont, 2021).

Dentro de este método se han identificado ciertas interferencias en agua que pueden contener sulfuro, cloruro, cobre y telurio. Esto sumado a que compuestos orgánicos que presentan una absorbancia UV cercana a 253,7 nanómetros que se han confirmado que interfieren con la medición. De esta manera los niveles de concentración de mercurio pueden ser difíciles de definir. Los materiales volátiles también interfieren como el cloro, por lo que para eliminar esto, se purga el espacio de aire muerto en el recipiente de digestión para agregar la solución de cloruro de estaño (EPA, 1994).

3.10. Marco normativo

La Carta Magna que lidera la normativa ecuatoriana, señala dentro del Artículo 154 que, los ministros de Estado, cuentan con la atribución de ejercer políticas públicas dentro de las áreas que estén a su cargo, así como expedir acuerdos y resoluciones administrativas. En este marco el Decreto Ejecutivo No. 849 que se publicó en el Registro Oficial No. 522 el 29 de agosto de 2011, permite las facultades al Ministerio de Ambiente para expedir acuerdos ministeriales con lo cual se emite la norma que modifica al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente.

Dentro de la Ley de Gestión Ambiental, para la prevención y control de la contaminación del ambiente existe el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente en donde se encuentran descritos los procedimientos establecidos para las actividades y responsabilidades tanto públicas como privadas en materia de calidad ambiental. Esta contempla todas las características del ambiente comprendiendo al agua, aire, suelo y biodiversidad, con énfasis en que exista ausencia de agentes nocivos que puedan afectar de alguna manera, el mantenimiento y regeneración de ciclos vitales, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza (Ministerio de Ambiente, 2015).

Es así que esta norma establece: a) límites permisibles, así como disposición y prohibiciones para las descargas a cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado, b) criterios de calidad para los distintos usos que se puede dar al agua; y c) metodologías para la determinación de contaminantes en cuerpos de agua. Por lo que el principal objetivo de esta norma es la de proteger el recurso agua. En la siguiente tabla se encuentran los límites permisibles del mercurio en agua establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana.

Tabla 6

Límites permisibles para mercurio en agua

Uso	Expresado como	Unidad	Criterio de calidad
Consumo humano y doméstico	Hg	mg/l	0,002
Preservación de vida acuática y silvestre en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas y estuarios	Hg	mg/l	Agua fría dulce: 0,002 Agua cálida dulce: 0,002 Agua marina y estuario: 0,0001
Uso agrícola	Hg	mg/l	0,001
Uso pecuario	Hg	mg/l	0,01

Nota. Tomado del Anexo 1 del El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador TULSMA de la Ley de Gestión Ambiental, para la prevención y control de la contaminación del ambiente, por el Ministerio de Ambiente (2015).

En el caso de la presencia de Mercurio en peces, en la siguiente tabla se encuentra el límite del contenido máximo en la carne dentro de la normativa ecuatoriana.

Tabla 7

Contenido máximo de mercurio en peces

Producto	Metal	Unidad	Contenido máximo
Peces frescos o congelados	Hg	mg/kg	0,5

Nota. Tomado de Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 183:2013 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN (2013).

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la determinación de mercurio (Hg) en peces y agua del río Mira de la parroquia Lita se utilizó los materiales que se detallan a continuación:

4.1. Fase 1: Investigación de campo

4.1.1. Materiales de campo

a. Agua del río Mira

Tabla 8

Materiales para toma de muestras de agua

Materiales	Equipos	Software
Botas de caucho		
Guantes de nitrilo		
Frascos boeco de 100ml	GPS	
Cooler	Cámara fotográfica	ArcGIS 10.5
Pilas de hielo		
Ficha para muestreo		
Etiquetas adhesivas		
Rotulador		

b. Peces del río Mira

Tabla 9

Materiales para la captura de peces

Materiales	Equipos	Software
Botas de caucho		
Guantes de nitrilo		
Anzuelo	GPS	
Uvas de monte	Cámara	ArcGIS
Hormiga culona (<i>Atta laevitaga</i>)	fotográfica	10.5
Etiquetas adhesivas		
Rotulador		

4.1.2. Método descriptivo

Al inicio de la investigación se realizó una encuesta (Anexo 1) en la Parroquia Lita sobre la pesca a las personas que ejecutan esta actividad en la zona con la finalidad de establecer los puntos de muestreo a lo largo del río Mira y determinar la especie del pez más capturada y consumida por la población.

Las encuestas realizadas revelaron como resultado que el pez más capturado y consumido por la población es el Sábalo (*Brycon americanus*) y que existen tres comunidades a lo largo del río Mira en la que los pobladores frecuentemente realizan esta actividad, asimismo estas zonas se tomaron como referencia para la toma de muestras de agua y la captura de los peces.

Con las tres comunidades identificadas se estableció un punto de muestreo por comunidad y se procedió a registrar la información usando el GPS (modelo: Garmin), de la misma forma, se efectuó la toma de las muestras, para lo cual se consideraron los tres puntos de muestreo en sitios

diferentes y en seis salidas de campo, al final se obtuvo un total de 18 muestras entre el agua y los peces para su respectivo análisis.

Los puntos de muestreo se encuentran a lo largo del río Mira dentro de la parroquia Lita, es decir existió un punto al inicio, en medio y al final de la parroquia. Cabe destacar que dichas muestras fueron tomadas cada ocho días en un lapso de tres meses, mismas que posteriormente fueron evaluadas de manera *ex situ*.

4.1.3. Recolección de muestras

Para la toma de muestras de agua, se consideró lo establecido en la normativa nacional, específicamente en la NTE 2176: Agua, calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo (INEN, 1998), y la captura de los peces se realizó usando el Protocolo para Recolección de Muestras de Peces para Análisis de Mercurio (MINAMBIENTE, 2018).

4.1.3.1. Agua

Se utilizaron recipientes de vidrio esterilizados de 1000 ml de capacidad, estos permanecieron cerrados hasta el momento de la toma de la muestra. Una vez llegado al punto de muestreo establecido, se homogenizaron los frascos con el agua a analizar y se introdujo en el agua contra la corriente, se llenaron al aforo sin dejar cámaras de aire.

Las muestras se etiquetaron y se conservaron a baja temperatura (4°C) mediante el uso de un cooler y pilas de hielo durante el transporte hacia el laboratorio para su respectivo análisis, el cual se llevó a cabo en el laboratorio de Química, Suelo y Aguas de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), ubicado en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador “Sede Ibarra” (PUCE-I).

4.1.3.2. Peces

Los peces fueron capturados por medio de un anzuelo profesional en cada punto de muestreo, una vez capturados fueron almacenados, etiquetados en fundas plásticas y transportados en hielera con una cantidad suficiente de hielos para garantizar la conservación de las muestras durante su traslado al laboratorio de Química, Suelo y Aguas de la Escuela de Ciencias Agrícolas

y Ambientales (ECAA), ubicado en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador “Sede Ibarra” (PUCE-I).

Las especies de peces capturadas en recolecta fueron identificadas con el apoyo del Sr. Darwin Gallegos, habitante y pescador de la parroquia Lita.

4.1.4. Población y muestra

Se seleccionó a 150 personas para aplicar la encuesta, siendo este número seleccionado por medio del muestreo no probabilístico por lo cual el investigador selecciona las muestras a tomar, en este caso los pescadores que más realizan esta actividad.

Las encuestas aplicadas a los pescadores de la zona, fueron tabuladas en una base de datos en el software de Microsoft Excel, dentro del cual se procesaron los mismos aplicando estadística descriptiva.

4.1.5. Localización del área de estudio

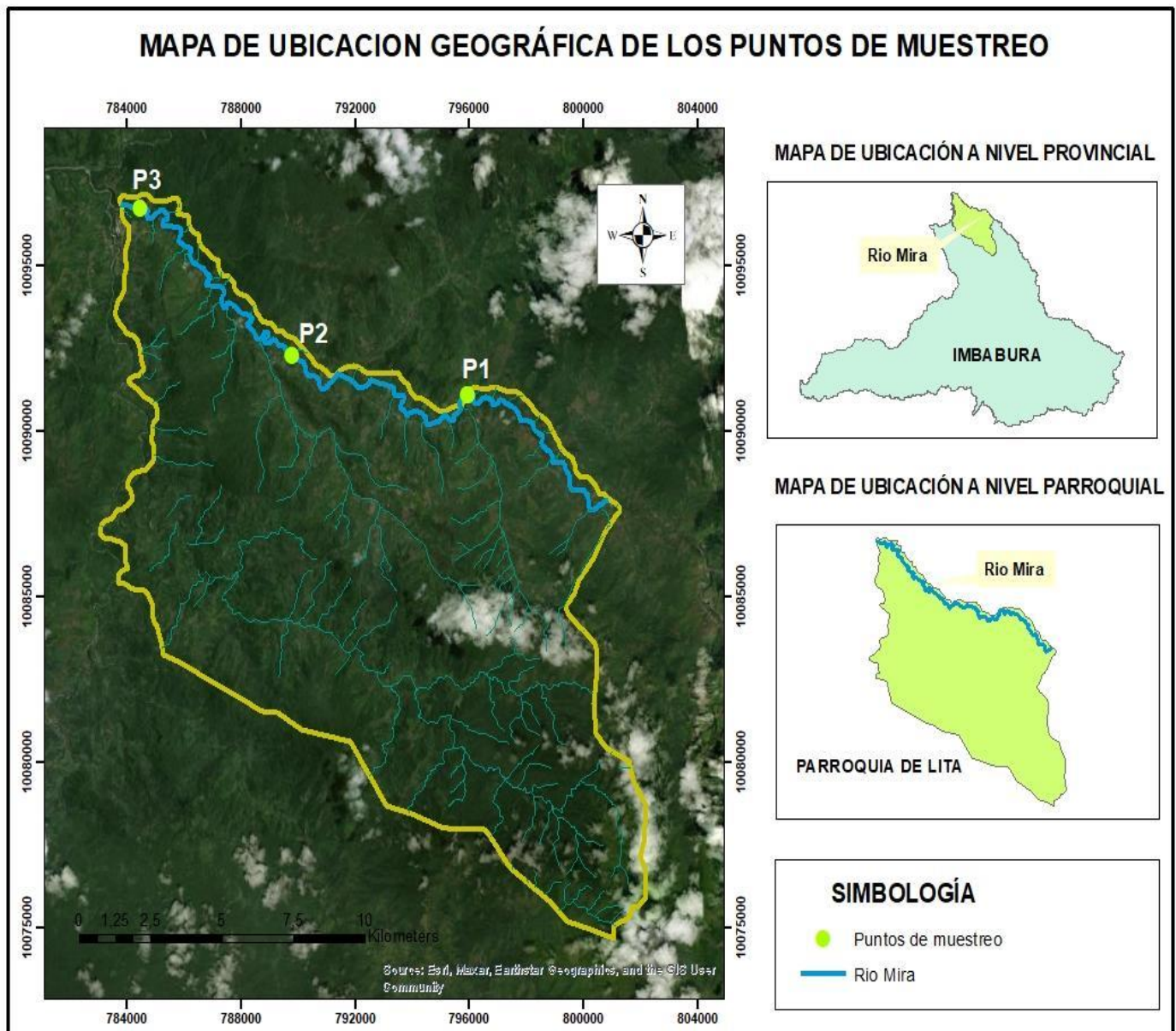
La parroquia de Lita se ubica dentro de la Cuenca hidrográfica del Río Mira, geográficamente localizado en el lado sur-este de Colombia y en el nor-este de nuestro país Ecuador, que corresponde al punto de afluencia de los ríos Chota y Lita, en el extremo este de la provincia de Imbabura, y el cual se une con el río San Juan en Colombia.

El río Mira, es un río internacional dado que une a dos países a través de una frontera natural, en Ecuador se encuentra ubicado geográficamente en el extremo norte del país, uniendo las provincias de Carchi e Imbabura con una extensión aproximada es de 328 Km, considerando los 100 km que se presentan previo a la convergencia del río blanco (Gobierno Autónomo de la Parroquia Lita, 2019).

4.1.6. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

Figura 1:

Ubicación geográfica de los puntos de muestreo



Nota: La figura representa la ubicación geográfica de los puntos de muestreo en el río Mira, parroquia Lita. Realizada en ArcGIS 10.5.

Tabla 10*Coordenadas Geográficas de los puntos de muestreo en la parroquia Lita*

Puntos	Descripción	X (UTM)	Y (UTM)	Altitud (m.s.n.m)
P-001	Ubicado en la comunidad de Parambas, sector la Línea.	17N 0795937	10091142	670
P-002	Ubicado en la comunidad de Cachaco.	17N 0789763	10092332	619
P-003	Ubicado en la cabecera parroquial de Lita, sector la Bocana.	17N 0795939	10091125	687

4.2. Fase 2: Método experimental**4.2.1. Materiales de laboratorio****a) Muestras de agua del río mira****Tabla 11***Materiales, equipos y reactivos para muestras de agua*

Materiales	Equipos	Reactivos
Guantes de nitrilo	Colorímetro SMART3, modelo 1910, marca LaMotte	HNO ₃ (Ácido nítrico)
Frascos boeco de 100ml		
Frascos ámbar	Potenciómetro de hidrógeno (pH) modelo F-71, marca Horiba LAQUA	H ₂ SO ₄ (Ácido sulfúrico)
Matraces aforados	Conductímetro portátil, modelo 850038, marca SPER SCIENTIFIC	KMnO ₄ (Permanganato de potasio)
Probetas	Medidor de turbidez portátil TB400, marca: Extech	K ₂ S ₂ O ₈ (Persulfato de potasio)
Muestras de agua	Espectrofotómetro de absorción atómica marca GBC, modelo SavantAA	Agua destilada
Papel aluminio		
Pipetas		
Rotulador		
Vasos de precipitación		

b) Peces capturados del río Mira**Tabla 12***Materiales, equipos y reactivos para muestras de peces*

Materiales	Equipos	Reactivos
Bandeja	Balanza marca Vilanx Estufa	Agua destilada Alcohol

Guantes de nitrilo	Trituradora	H ₂ SO ₄ pa (Ácido sulfúrico)
Papel aluminio	Espectrofotómetro de absorción atómica	H ₂ O ₂ pa (Peróxido de hidrógeno)
Rotulador	marca GBC, modelo SavantAA	
Frascos recolectores		
Cinta métrica		
Cuchillo de cerámica		
Rotulador		

4.2.2. Proceso experimental

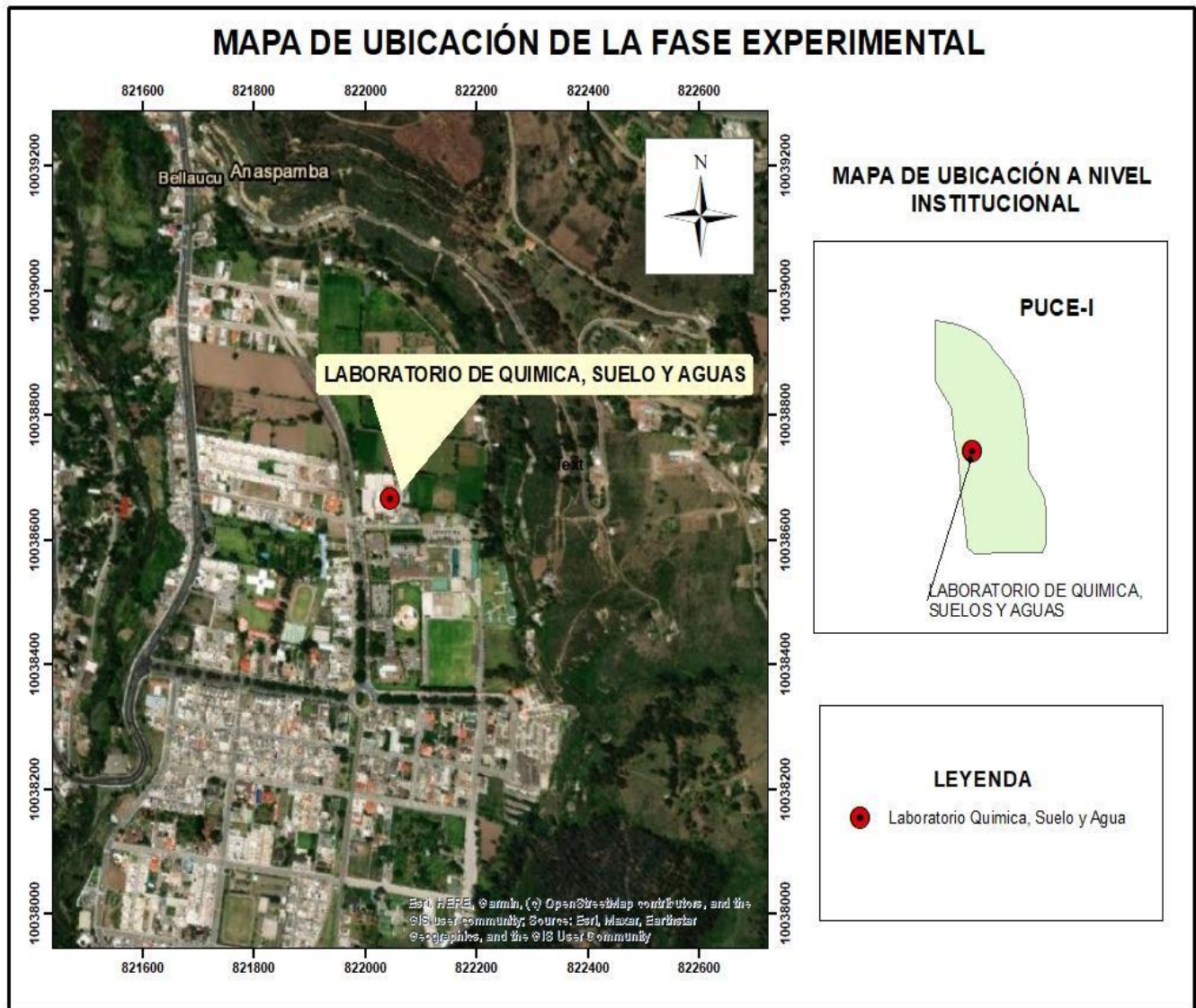
Dentro del Laboratorio de Química, Suelo y Aguas, ubicado en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador “Sede Ibarra” (PUCE-I) se realizó el respectivo análisis en el agua donde se evaluó pH, Temperatura del agua (°C), Conductividad eléctrica (µS/cm), Turbidez (NTU) y Color (UC); en los peces se hizo la toma de parámetros morfométricos (Pesaje total, Longitud estándar y Longitud total).

Para establecer las concentraciones de mercurio en agua y peces se empleó espectrofotometría de absorción atómica con vapor frío, específicamente empleando el equipo de la marca GBC, modelo SavantAA. Se basó en el método de la EPA 245.1 para las muestras de agua y el método AOAC 977.15 para peces.

4.2.3. Ubicación geográfica de la fase experimental

Figura 2:

Ubicación geográfica de la fase experimental



CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

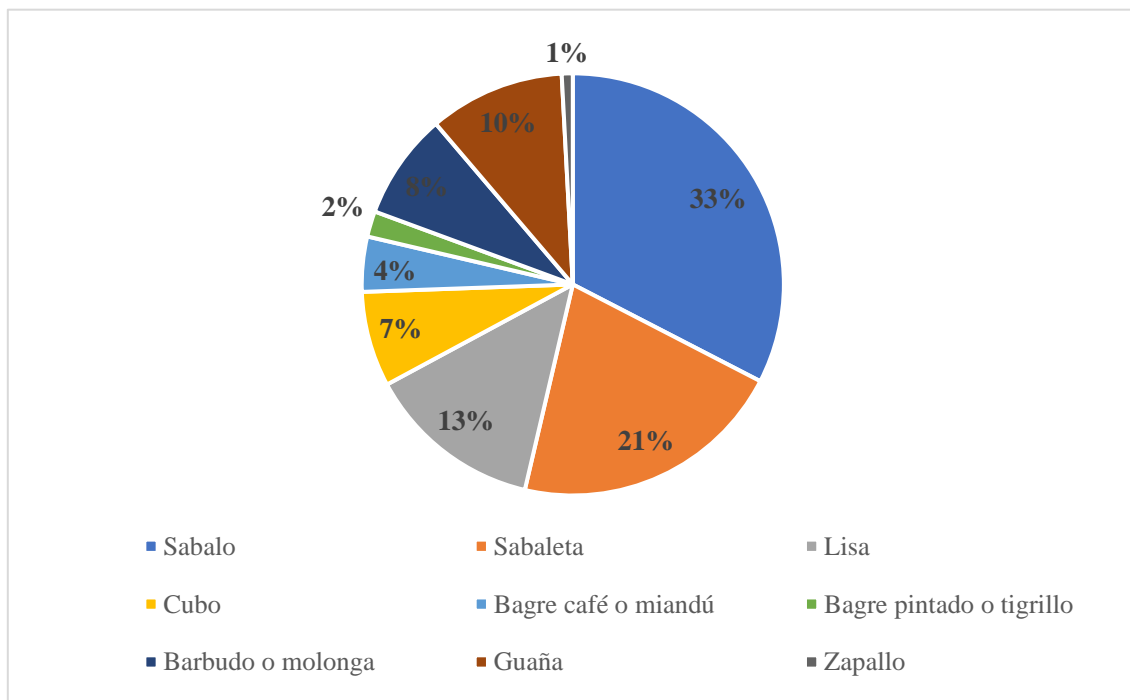
5.1. Fase 1. Investigación de campo

5.1.1. Encuesta aplicada a los pescadores de la parroquia Lita

En el Anexo 1 se encuentra el cuestionario aplicado a los pescadores de la parroquia Lita. Se realizó en total 10 preguntas para establecer las diferentes actividades de pesca y los hábitos de los pescadores. Es así que la pregunta 1, se encuentran enlistadas las diferentes especies de peces que se encuentran en el Río Mira.

Pregunta 1. De la lista señale la especie de peces que usted más pesca:

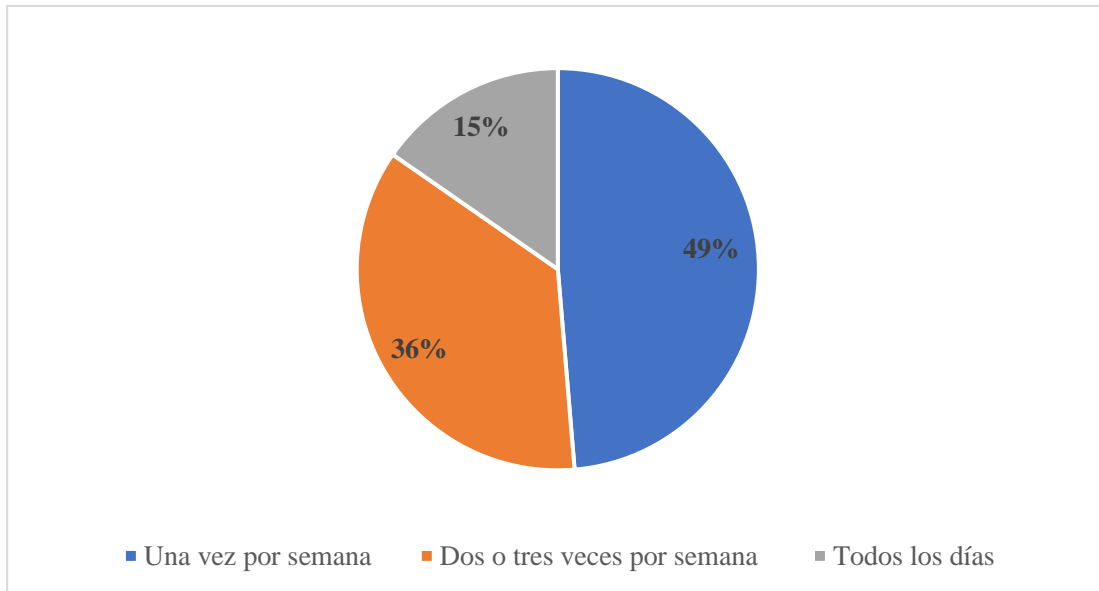
Figura 3. Especie de pez que más se pesca



De las 356 respuestas, la especie Sábalo es la más predominante con un 33%, seguida por Sabaleta con un 21%. Estas dos especies en conjunto representan más del 50% de la muestra indicando que estas especies son las más comunes o abundantes.

Pregunta 2. ¿Cuántos días a la semana pesca?

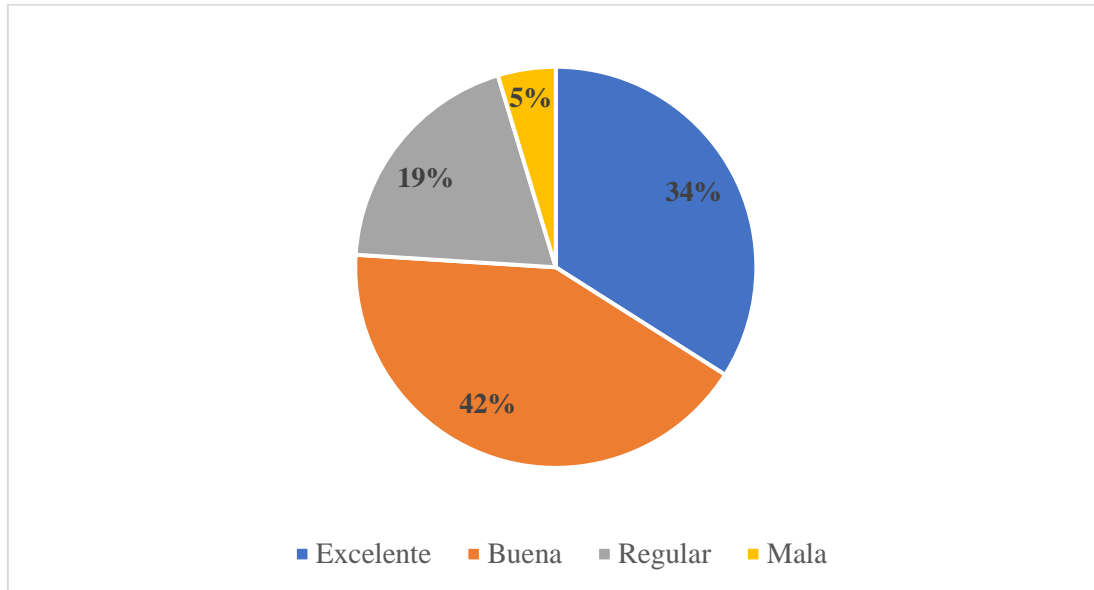
Figura 4. Porcentaje de días a la semana que pescan



En función a los días en los cuales se realiza la pesca el 49% de los encuestados manifiesta que pesca una vez por semana, el 36% que la realiza entre dos o tres veces por semana y solo el 15% que pesca todos los días. Eso indica que la población presenta un estilo de pesca medida en la cual acuden al río en una única ocasión para abastecerse de peces y por otra parte más del 50% está presente en todos días de la semana.

Pregunta 3. ¿Cómo valora la calidad del pescado que usted captura?

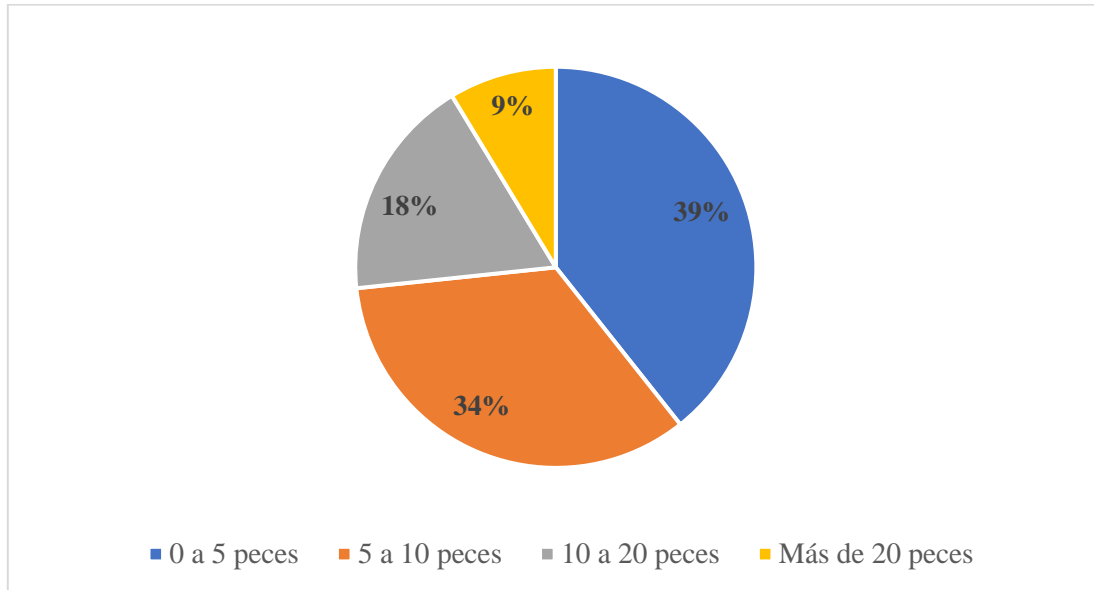
Figura 5. Valoración del pescado capturado



En función a la valoración de la calidad de los peces que capturan los pescadores, la mayoría de las encuestas recaen en las categorías de Excelente y Buena, representando el 76% en total con lo cual la calidad se encuentra en estándares de óptimas condiciones, siendo así que los peces con base en lo manifestado por los encuestados son de buena calidad.

Pregunta 4. ¿Qué cantidad pesca a la semana?

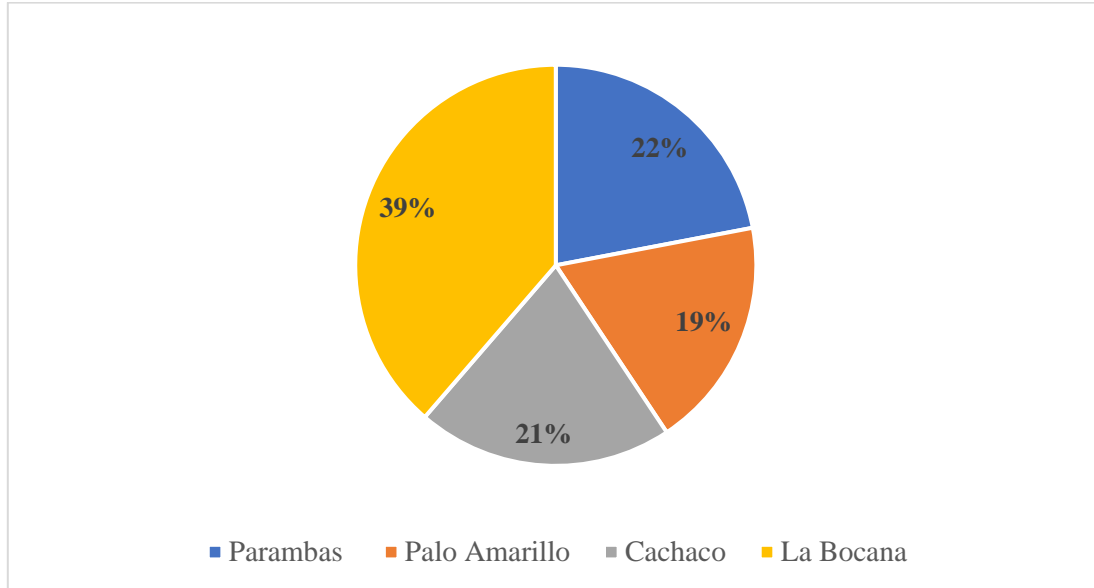
Figura 6 . Cantidad de peces capturados a la semana



En relación a la cantidad que se pesca en la semana la mayoría de los encuestados (39%) se encuentran dentro del rango de 0 a 5 peces, por lo que la cantidad de peces que un pescador comúnmente puede capturar es de hasta 5 peces a la semana, esto al incluir la relación de 5 a 10 peces con el 34%. A su vez, se destaca que con poca frecuencia se capturan más de 20 peces en la semana.

Pregunta 5. ¿Cuál es la comunidad a lo largo del río Mira dónde frecuentemente pesca?

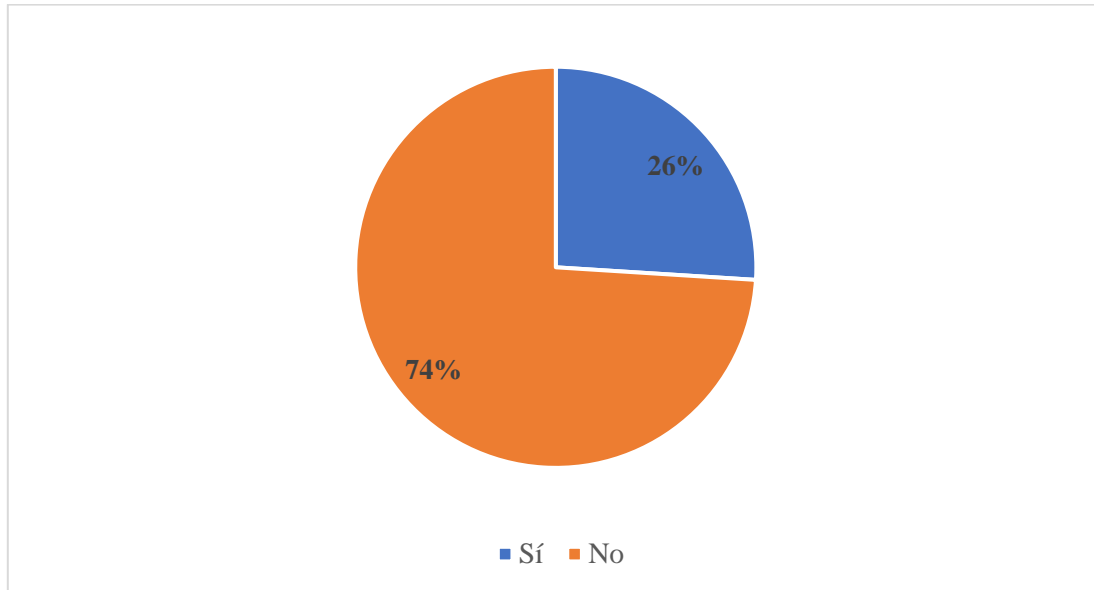
Figura 7: Cantidad de peces capturados a la semana



Respecto a la comunidad en donde frecuentemente pescan la mayoría de los encuestados (39%) indican que pescan en La Bocana, y con menor frecuencia en sitios como Parambas (22%). De esta manera se establece que la comunidad en la que los pescadores están acostumbrados a pescar es La Bocana.

Pregunta 6. ¿Usted comercializa los peces que captura?

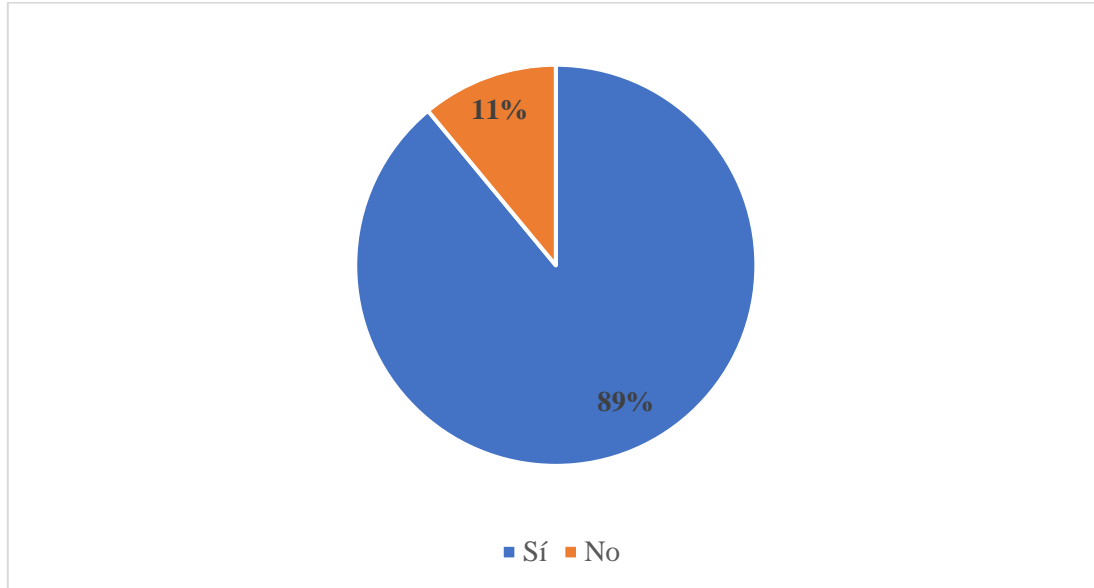
Figura 8: Comercialización de los peces capturados



Los resultados al cuestionamiento acerca de la comercialización de los peces capturados, la mayoría de los encuestados (74%) indican que no comercializan sus peces y en cambio el 26% si comercializa sus peces capturados. Es así que se establece que los peces capturados son destinados a otra actividad que no necesariamente es la comercialización.

Pregunta 7. ¿Usted consume las especies que pesca?

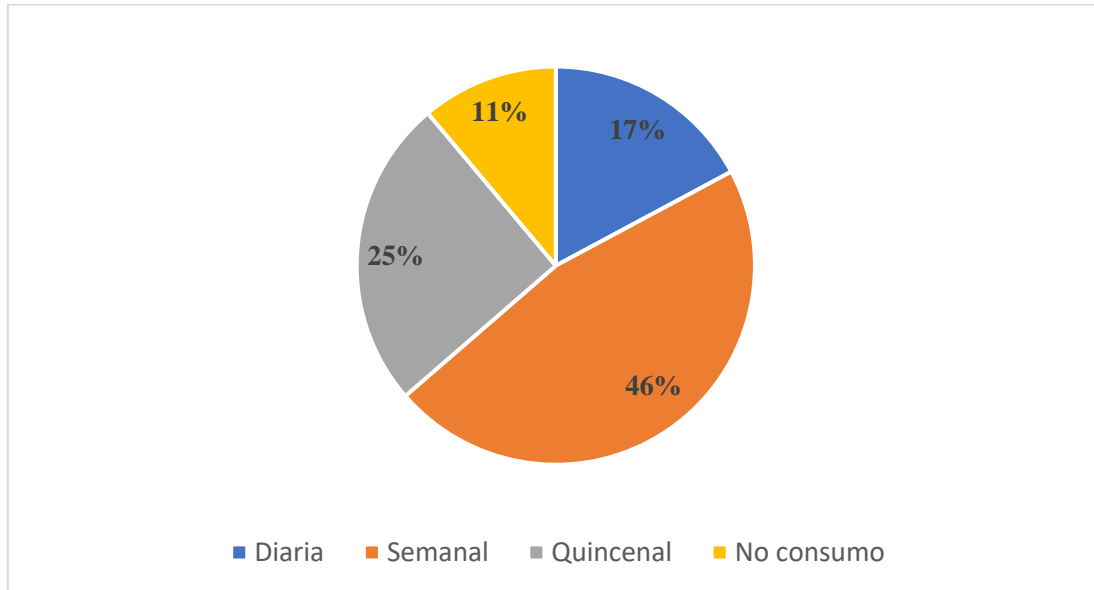
Figura 9: Comercialización de los peces capturados



Los resultados al cuestionamiento acerca de si los peces capturados son para el consumo personal de los pescadores, la mayoría de los encuestados (89%) indican que si consumen las especies que pescan. Esto se relaciona con la pregunta anterior ya que, los pescadores no comercializan estos peces sino más bien son consumidos por los pescadores.

Pregunta 8. ¿Con qué frecuencia consume estas especies?

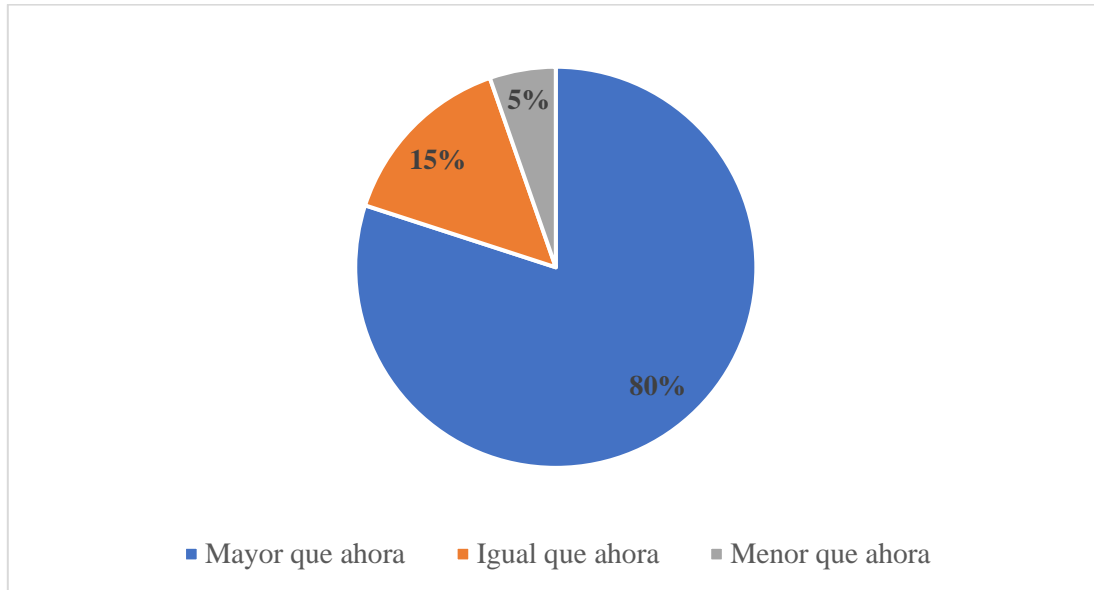
Figura 10 : *Frecuencia de consumo de peces*



En relación a la frecuencia con la que se consumen las especies de peces, la mayoría de los encuestados (46%) indican que realizan esta actividad semanalmente a lo que el 25% indicó que pescan con frecuencia quincenal. Esto devela que como la captura de peces es para consumo propio los peces tienen que capturarse cada semana o cada dos semanas, ya que, es un alimento preferido por la población.

Pregunta 9. ¿Cómo cree usted que era la pesca hace 20 años atrás?

Figura 11: *Conocimiento de la pesca hace 20 años atrás*

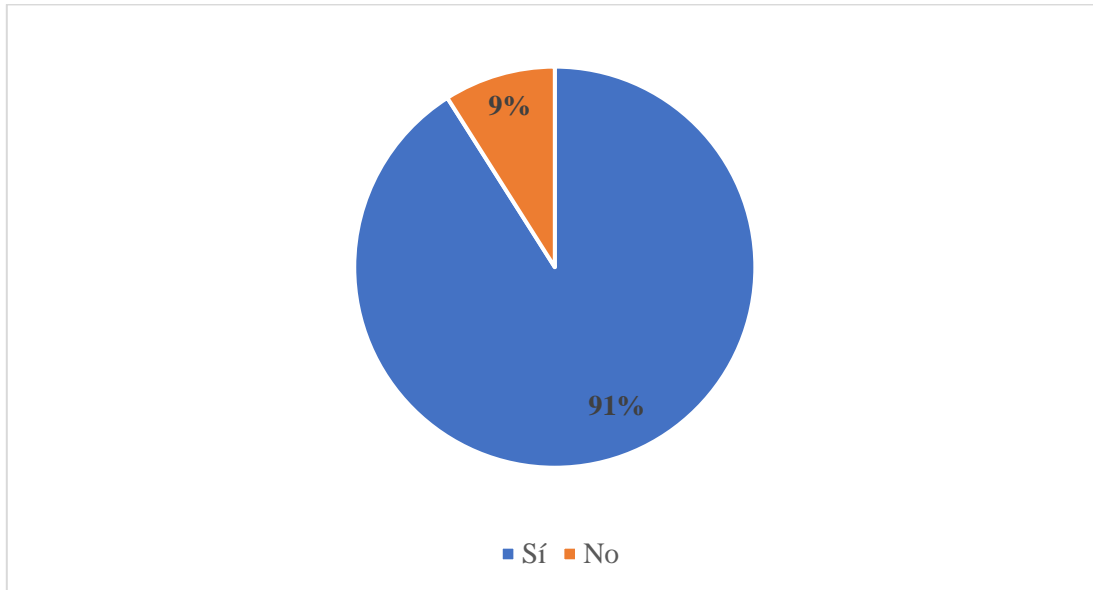


En lo relacionado con el conocimiento de la pesca hace 20 años atrás, de los 150 encuestados la mayoría (80%) manifestó que era mayor que en la actualidad. De esta manera se evidenció que los pescadores reconocen que la pesca era más abundante en años pasados, por lo que esto puede deberse a factores externos como externos dentro del área de estudio.

Pregunta 10. Visualmente, ¿Cree usted que se ha deteriorado en los últimos años?

¿Por qué?

Figura 12: *Percepción visual del deterioro del río Mira*



Se realizó la pregunta relacionada con el deterioro del río en los últimos años a lo que la mayoría de los encuestados (91%) manifestó que si se evidencia visualmente este cambio y solo el 9% que visualmente no existe deterioro. Ante esto cuando se les preguntó el porqué de las respuestas afirmativas, se encontró que los encuestados visualmente han apreciado la existencia de minería tanto legal como ilegal que es una fuente de contaminación, así como la presencia de aguas servidas que desembocan directamente en este cuerpo hídrico, lo que en el transcurso del tiempo ha sido percibido por la población como un deterioro del río Mira.

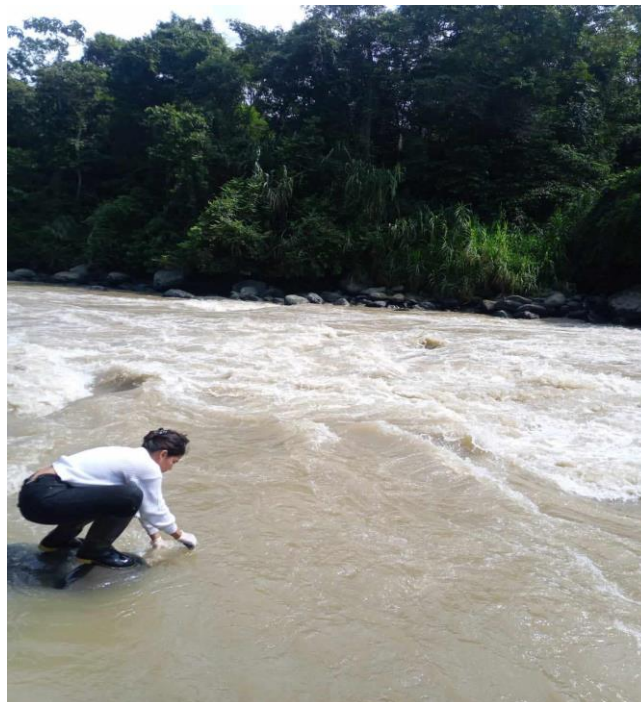
5.1.2. Observaciones en los puntos de muestreo

El muestreo se realizó a lo largo del río Mira en tres puntos específicos para cubrir el área de estudio y están ubicados en: la cabecera parroquial de Lita, sector la Bocana (Punto 3), en la comunidad de Cachaco (Punto 2) y en la comunidad de Parambas (Punto 1). Es en estos puntos donde se realizaron seis visitas en total, siendo tres para la toma de agua y el resto para muestrear a los peces.

5.1.2.1. Observación 1

Es así que una de las primeras observaciones que se suscitaron dentro de la investigación de campo fue el estado del flujo de agua, ya que se evidenció una creciente baja a lo largo del trayecto. En el Punto 1, el clima estuvo soleado y se observó la presencia de basura, así como vegetación en el sitio, siendo este un espacio donde podrían acumularse desperdicios arrojados al río aguas arriba, además de la existencia de una vertiente, pero con una creciente baja, que para ser la parte baja debería haberse incrementado el caudal, pero como se evidenció por el sol que no había llovido puede deberse a un déficit de precipitación.

Figura 13: *Vista general del Río Mira en el P1*



En el caso del Punto 2, al estar en la comunidad de Cachaco con una altitud de 619 msnm, es la zona más baja del tramo del río, y se evidenció también la presencia de basura, que al ser este un punto con altitud baja, es propenso a que se estanque la basura de las partes altas del río. También se evidenció la presencia de vegetación alrededor del río estando este presente alrededor de la ribera del río, por lo que la dinámica de esta vegetación refleja la toma de nutrientes disueltos en el agua para su crecimiento.

Figura 14 : *Vista general del Río Mira en el P2, sector Cachaco*



El Punto 3 se ubica en la cabecera parroquial de Lita, por lo tanto, en la parte más alta de la zona de estudio al estar a 687 msnm. En esta zona al estar expuesta a asentamientos humanos se notó que existen aguas servidas que desembocan directamente en el río, así como la existencia de una quebrada y como en los anteriores puntos de muestreo la presencia de basura y vegetación. Además, en este punto se observó personas pescando en el río. Este punto devela que en su mayoría los desperdicios tanto sólidos como líquidos se arrojan al río y que en este mismo espacio se captura peces siendo un punto para que se contamine tanto el agua, los animales y los pobladores que consuman este alimento.

Figura 15: *Desembocadura de aguas residuales*



5.1.2.2. Observación 2

La segunda observación tiene mucha relación con la primera, ya que en los tres puntos de muestreo se evidenciaron características similares. Esto hace referencia a que se encontró basura en los puntos de muestreo, vegetación en las riberas del río, presencia de personas pescando, así como la descarga de aguas servidas por parte de la población que vive alrededor de la zona de estudio.

Lo que si marco diferencia en esta observación fue en primer lugar que el día anterior al recorrido ocurrió un evento de precipitación que cambio las condiciones del día soleado de la pasada visita. Esto develó en la existencia de una creciente del río, siendo este un aspecto que puede modificar varias características ya observadas, como un aumento de la acumulación de la basura en la parte baja del río debido al arrastre desde la parte alta, así como un mayor número de pescadores ya que, el río revuelto es un suceso en el cual se realiza la pesca con mayor frecuencia. Además, el incremento del caudal del río indica que el flujo estuvo bajo en la primera visita debido a la falta de lluvia.

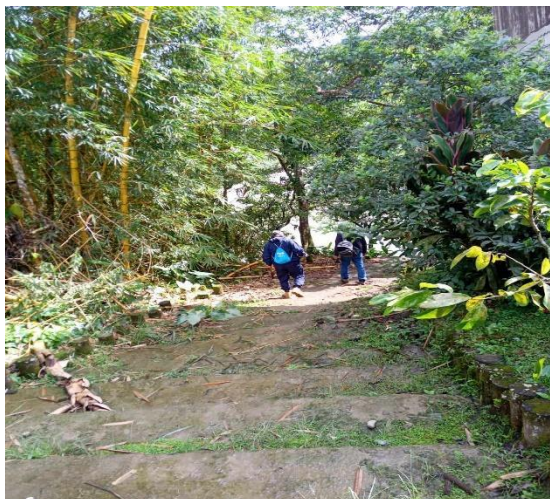
Figura 16: *Flujo turbulento y presencia de basura*



5.1.2.3. Observación 3

En la tercera observación se destaca que se realizó la captura de los peces para determinar la concentración de mercurio en su carne. Es así que en este caso el clima presentó una tendencia a precipitación constante, es decir, existió lluvia durante el tiempo que se realizó el muestreo. De la misma manera que en las anteriores observaciones se evidenció la acumulación de basura, aguas servidas, vertientes, la quebrada, vegetación ribereña y la presencia de personas pescando en los puntos de muestreo. Por lo que se puede concluir preliminarmente que el río Mira presenta una tendencia a un clima lluvioso, siendo común que se contamine este cuerpo hídrico ya sea por desechos líquidos o residuos sólidos, lo que en cierta medida debe ocasionar algún impacto ambiental en la flora y fauna.

Figura 17: *Presencia de personas pescando en el Río Mira*



5.2. Fase 2. Método experimental

5.2.1. Agua del río Mira

5.2.1.1. Parámetros físicos

Dentro del análisis del agua del río Mira se tomaron datos de parámetros como el pH, Temperatura, Conductividad eléctrica, Turbidez, y Color que están representados en las siguientes tablas y gráficas para su respectivo análisis.

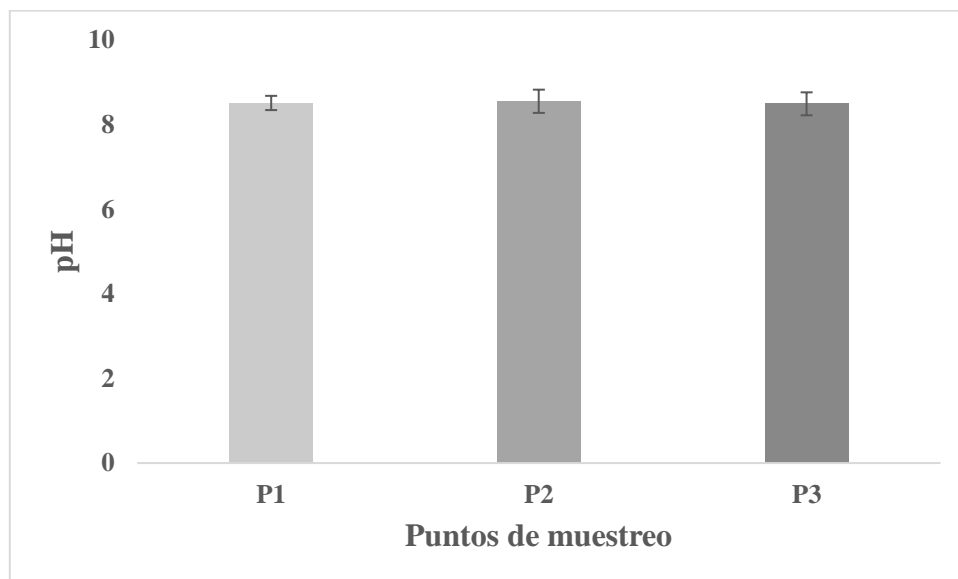
Tabla 13

pH del agua del río Mira

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo			LMP
		P1	P2	P3	
Potencial de Hidrógeno	pH	8,5	8,5	8,4	6.5-9
		1	5	9	

Nota: Los datos obtenidos son comparados con el límite máximo permisible tomado del Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2: Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario.

Figura 18: *pH del agua del río Mira*



El pH tiene una tendencia a ser alcalino con una variación pequeña entre cada valor en el muestreo. Es así que los resultados indican que, dentro de la escala de pH, este se acerca a un pH neutro, ya que la medida resulta no ser superior que por 1 a 1,5 puntos. Es relevante destacar que, en comparación con los valores establecidos en la Tabla 2 del Acuerdo ministerial 097-A, Libro VI, Anexo 1 los resultados de pH obtenidos se sitúan dentro del Límite Máximo Permitido (LMP). Este hallazgo respalda la idoneidad del agua del río Mira para mantener condiciones favorables para la vida acuática, conforme a las regulaciones y estándares establecidos en el mencionado acuerdo ministerial.

Tabla 14

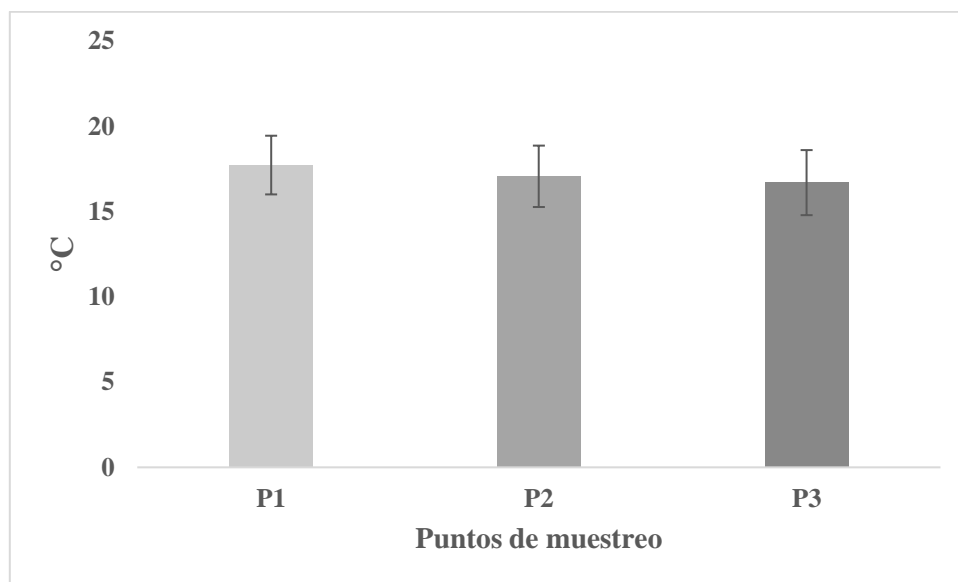
Temperatura del agua del río Mira

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo			LMP
		P1	P2	P3	
Temperatura	°C	17,7 3	17,0 7	16,70	>3-32<

Nota: Los datos obtenidos son comparados con el límite máximo permisible tomado del Acuerdo

Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2: Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario.

Figura 19: *Temperatura del agua del río Mira*



Nota: La figura presenta los resultados en grados centígrados de la temperatura del agua del río Mira. Realizada en Excel 2016.

En la Temperatura se encontró un valor mínimo de 16,70 °C en el P3, y un máximo de 17,73 °C en el P1. Por lo que este parámetro, presenta valores similares durante el muestreo, pero que la variación puede indicar que existe incremento de temperatura aguas abajo debido la incorporación de aguas servidas. En relación con el cumplimiento de la normativa ambiental, los valores de temperatura obtenidos se encuentran dentro del límite máximo permisible.

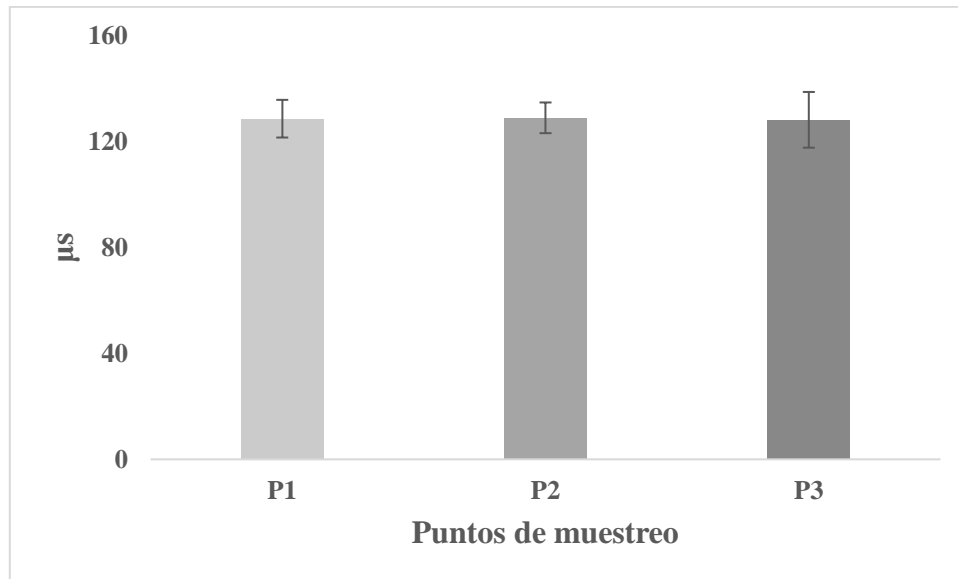
Tabla 15

Conductividad eléctrica del agua del río Mira

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo			LM P
		P1	P2	P3	
Conductividad Eléctrica	µS/cm	128,80	129,13	128,37	-

Nota: La tabla presenta los resultados en microsiemens de la conductividad eléctrica del agua del río Mira.

Figura 20: Conductividad eléctrica del agua del río Mira



Nota: La figura presenta los resultados de la conductividad eléctrica del agua del río Mira. Realizada en Excel 2016.

La Conductividad eléctrica que se registró en los puntos de muestreo obtuvo un valor mínimo de 128,37 µS en el P3 y un máximo de 129,13 µS en el P2, por lo que estos valores no difieren en gran medida. Es así que este parámetro devela que los iones disueltos en el río son similares y que si fuesen más elevados reflejarían un mayor contenido de sales.

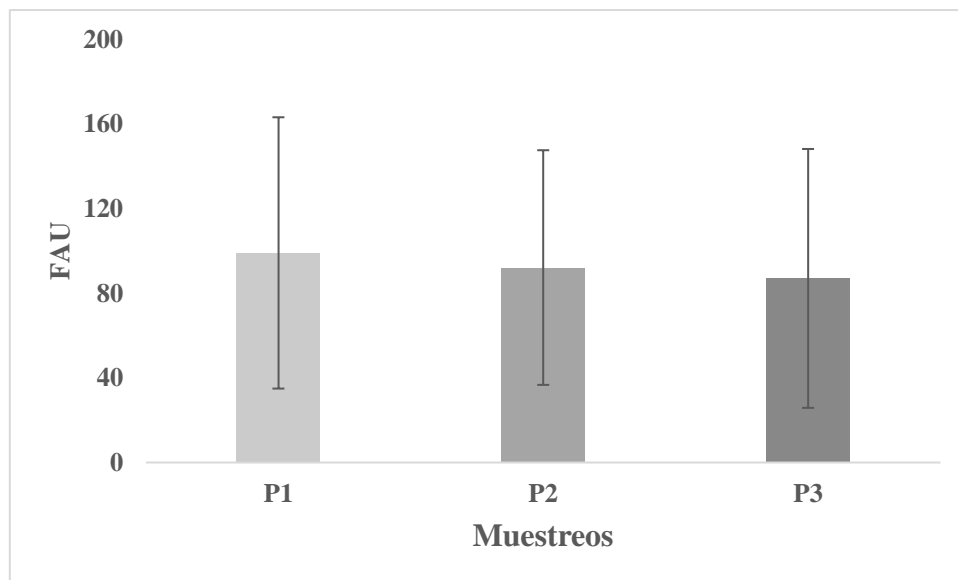
Tabla 16

Turbidez del agua del río Mira

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo			LM P
		P1	P2	P3	
Turbidez	FAU	99,0	92,1	87,0	0-50
		7	5	2	

Nota: Los datos obtenidos son comparados con el límite máximo permisible tomado del Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2: Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario.

Figura 21: *Turbidez del agua del río Mira*



Nota: La figura presenta los resultados de la turbiedad del agua del río Mira. Realizada en Excel 2016.

En el caso de la Turbidez el valor registrado en el P1 fue de 99,07 FAU, en el P2 92,15 FAU y en el P3 87,02 (1 FAU = 1NTU). Esto refleja que el contenido de partículas en suspensión, algas, sedimentos y materia orgánica no se acercan a valores de cero por lo que el agua no es clara, siendo esto coincidente con que se trata de agua de río y en estos cuerpos existe cierto nivel de turbidez por los movimientos del mismo. De acuerdo con los estándares establecidos por el acuerdo ministerial 097-A, Tabla 2, la turbidez medida no cumple con el límite máximo permitido.

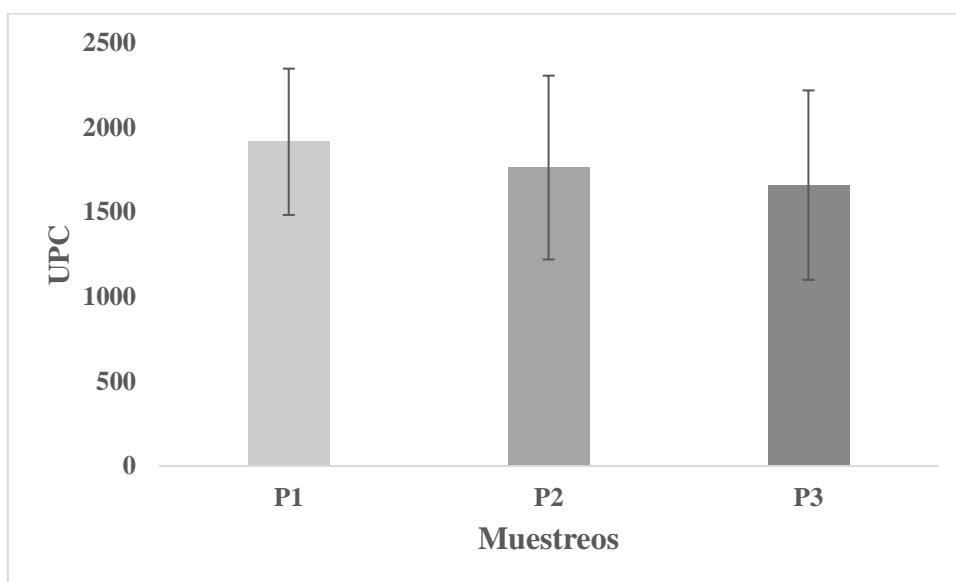
Tabla 17

Color del agua del río Mira

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo			LM P
		P1	P2	P3	
Color	UPC	1915,33	1763,00	1659,33	-

Nota: El Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2: Criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario, no contempla el parámetro de color

Figura 22: Color del agua del río Mira



Nota: La figura presenta los resultados de color del agua del río Mira. Realizada en Excel 2016.

En el caso del P1 se registró un valor máximo de 1915,33 UPC. Esto indica que desde la cabecera parroquial en donde se ubica el P3 hasta el final del tramo del río en el P1, existe un incremento de la coloración del río, es decir, se evidencia el contenido de materia orgánica que esta presenta, siendo mayor en el P1.

5.2.1.2. Mercurio en muestras de agua

Tabla 18

Contenido de mercurio en muestras de agua

Mercurio (mg/l)			
Punto	M1	M2	M3
P1	<0,0044	<0,0044	<0,0044
P2	<0,0044	<0,0044	<0,0044
P3	<0,0044	<0,0044	<0,0044
Valor permisible (Acuerdo ministerial 097-A)	0,002	0,002	0,002

Nota: La tabla presenta las concentraciones de mercurio determinadas por medio del equipo de espectrofotometría de absorción atómica en comparación con el Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo 1, Tabla 2.

Los datos promedio de las muestras de agua reflejan que la concentración de mercurio en el agua es consistente en todos los puntos de muestreo, presentando un valor menor a <0,0044 mg/L. Esta observación indica que la concentración detectada alcanzó el límite de sensibilidad del equipo utilizado en el análisis, impidiendo la determinación precisa de concentraciones inferiores, específicamente aquellas menores a 0,0002 mg/L.

Debido a esta limitación instrumental, no podemos determinar si los niveles de mercurio cumplen con la normativa nacional vigente. En consecuencia, se recomendará una evaluación adicional mediante otro método analítico que permita estimar concentraciones más bajas.

5.2.2. Peces del río Mira

5.2.2.1. Parámetros morfométricos

Tabla 19

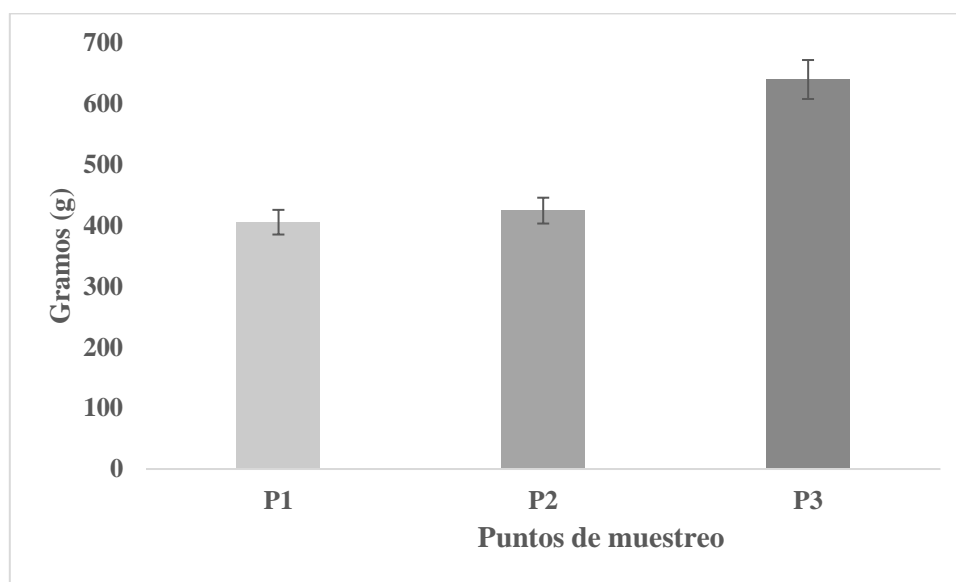
Pesaje total de los peces

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo
------------------	---------------	---------------------------

Pesaje total	g	P1	P2	P3
		405,33	424,33	639,67

Nota: La tabla presenta los resultados en gramos del peso total de los peces (Sábalo) capturados en el río Mira.

Figura 23: *Pesaje total de los peces*



Nota: La figura presenta los resultados en gramos del peso total de los peces capturados en el río Mira. Realizada en Excel 2016.

El peso registrado en el P3 fue el más alto con 639,67 gramos a diferencia de los otros dos puntos de muestreo. Esto indica que la presencia de contaminantes aguas abajo afecta el desarrollo y crecimiento de los animales (Sábalo), por lo que el peso es mayor aguas arriba y en el último punto de muestreo se reduce hasta 405,33 g.

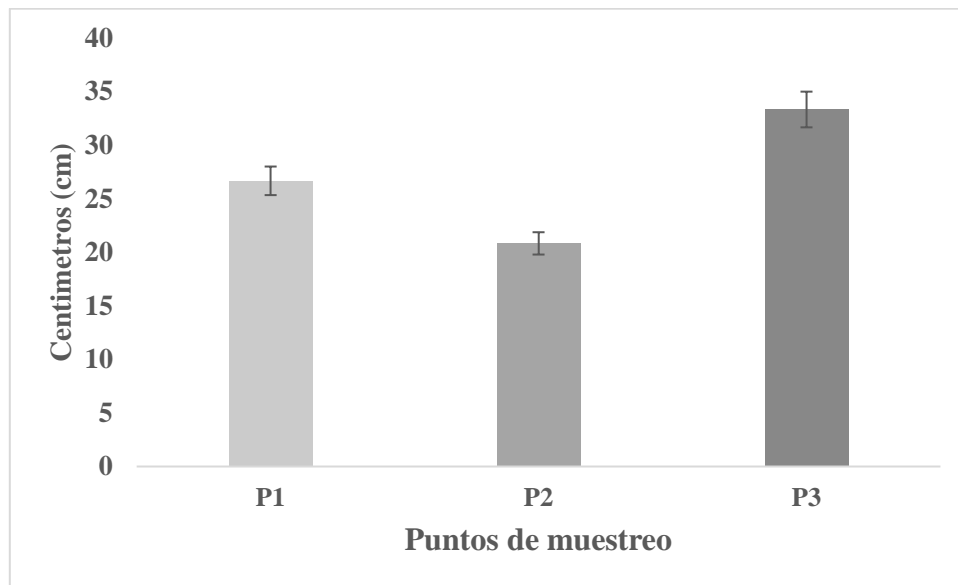
Tabla 20

Longitud estándar de los peces

Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo		
		P1	P2	P3
Longitud estándar	cm	26,67	20,83	33,33

Nota: La tabla presenta los resultados en centímetros de la longitud estándar de los peces capturados en el río Mira.

Figura 24: Longitud estándar de los peces



Nota: La figura presenta los resultados en centímetros de la longitud estándar de los peces capturados en el río Mira. Realizada en Excel 2016.

La longitud máxima de los peces fue de 33,33 cm en el P3 y mínima de 20,83 cm en el P2. Esto es un indicador que el desarrollo y crecimiento de los peces es mejor en la cabecera parroquial debido a que la contaminación no afecta directamente su hábitat sino más bien aguas abajo ocurre el problema debido a la acumulación de residuos y aguas servidas.

Tabla 21

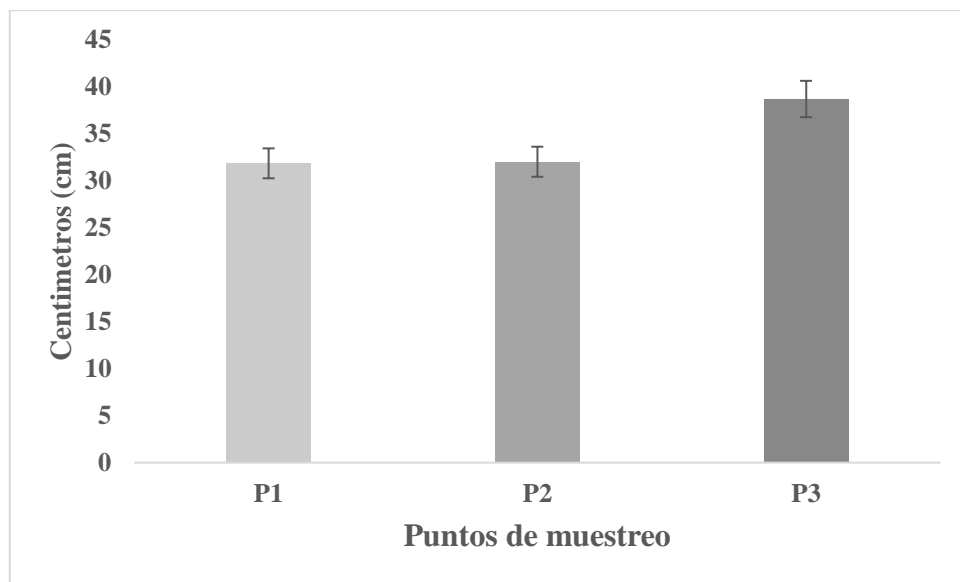
Longitud total de los peces

o	Parámetro	Unidad	Puntos de muestreo		
			P1	P2	P3
	Longitud total	cm			

		31,83	32	38,67
--	--	-------	----	-------

Nota: La tabla presenta los resultados en centímetros de la longitud total de los peces capturados en el río Mira. Elaboración propia

Figura 25: Longitud total de los peces



Nota: La figura presenta los resultados en centímetros de la longitud total de los peces capturados en el río Mira. Realizada en Excel 2016.

La longitud total de los peces refleja que fue más larga en el P3 (38,67 cm). Esto concuerda con lo establecido en la longitud estándar, por lo que los parámetros de crecimiento son mejores en el P3 a diferencia del P1 y P2, siendo evidente que la incorporación de desechos sólidos como líquidos, afecta el crecimiento de los animales.

5.2.2.2. Concentración de Mercurio en el tejido muscular de peces

Tabla 22

Contenido de mercurio en tejido muscular del Sábalo (Brycon americanus)

Mercurio(mg/kg)			
Punto	M1	M2	M3
P1	<0,0044	<0,0044	<0,0044
P2	<0,0044	<0,0044	<0,0044
P3	<0,0044	<0,0044	<0,0044
Valor permisible (NTE INEN 183:2013)	0,5 mg/kg	0,5 mg/kg	0,5 mg/kg

Nota: La tabla presenta las concentraciones de mercurio determinadas por medio del equipo de espectrofotometría de absorción atómica en las muestras del tejido muscular de los peces capturados en el río Mira. Tomado de Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e *Hydrilla verticillata* del lago de Izabal, por Boy (2013).

El contenido de mercurio en el tejido muscular indica que, en los puntos de muestreo, así como en cada repetición realizada en promedio la concentración obtenida fue de <0,0044 mg/L por lo que este valor es menor al indicado por la norma técnica INEN. Por ello se establece que no existe acumulación de mercurio en el tejido muscular del pez más representativo.

5.3. Discusión

Las encuestas realizadas a los pescadores más representativos de la zona de estudio indican que la especie más capturada es el Sábalo (*Brycon americanus*), por lo que con una frecuencia de captura semanal y siendo el pez preferido para el consumo propio de los pescadores se convierte en un bioindicador vital para un estudio ambiental descriptivo de esta zona.

A su vez, las características morfométricas de *Brycon americanus* indican que en tres puntos de muestreo su desarrollo y crecimiento se ve afectado por algún tipo de agente externo, que por las observaciones en los puntos de muestreo puede deberse a la contaminación del río, lo que modifica los parámetros del hábitat como el pH y la Temperatura siendo estos vitales para que la especie se desarrolle.

Jiménez (2021) indica que los ríos ubicados entre alturas de 0 a 1000 msnm del Ecuador presentan especies de peces con cambios morfológicos en las partes altas y bajas de una cuenca debido a diferentes procesos que se suscitan en las riberas de los ríos. En la presente investigación se evidenció esta característica, ya que, tanto el peso y longitud de los peces muestreados fueron cambiantes en los tres puntos de muestreo, lo que puede deberse a la presencia de basura y aguas servidas, por lo que se concuerda con el autor. Jablonska y Kluska (2019) mencionan que la contaminación de un río influye directamente en las especies que habitan en este medio presenten diferentes comportamientos a lo largo de la ribera del río, hecho que se constató en este estudio al comprobar que las características morfométricas varían entre puntos de muestreo. A su vez, Aportela y Paulino (2020) destacan que la contaminación de los ríos presenta un impacto directo en los peces, debido a los afluentes que se incorporan en el agua, por lo que se concuerda con los autores debido a que ante la evidencia de aguas servidas se constató que los parámetros físicos del agua son diferentes en los puntos de muestreo como la Temperatura que puede deberse a la contaminación y así la afección al tamaño y peso de los peces.

La concentración de mercurio en el agua es un indicador crítico para evaluar la calidad del recurso hídrico y sus implicaciones para la salud ambiental. En este estudio, los resultados revelan que la concentración de mercurio en el agua, con un valor de $<0,0044$ mg/l, alcanzó el límite de sensibilidad del equipo analítico utilizado en el análisis. Este hecho presenta desafíos sustanciales para determinar si el agua cumple o no con la normativa ambiental vigente.

Los resultados indican que la concentración de mercurio en los peces, con un valor de $<0,0044\text{mg/kg}$, ha alcanzado el límite de sensibilidad del equipo analítico utilizado. Es relevante destacar que, a pesar de la limitación del equipo para cuantificar concentraciones más bajas, se puede afirmar que los niveles detectados están significativamente por debajo del Límite Máximo Permisible (LMP) establecido por la normativa ambiental vigente.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

Por medio de las encuestas realizadas a 150 pescadores se determinó que la especie mayormente capturada es el Sábalo (*Brycon americanus*) predominando un 33% de resultados, seguida por la Sabaleta con un 21%, estas dos especies representan más del 50% de la muestra.

Estos peces son ingeridos con una frecuencia diaria y semanal, siendo que solo el 11% de los pescadores comercializan los peces capturados, dejando un 84% de pescadores que pescan para consumo propio.

En cuanto a el agua del Río Mira, los parámetros como el pH indica que tiene una tendencia a ser alcalino, por lo que este cuerpo hídrico es apto para el desarrollo y crecimiento de los peces. Al medir parámetros morfométricos como la longitud y el peso, se evidenció que los peces del P3 presentan mayor peso y largo que los del P1 y P2, por lo que se demuestra una incidencia a factores externos, como la descarga de aguas servidas y basura.

En la determinación de mercurio en las muestras de agua del Río Mira en la parroquia Lita se llegó al límite de sensibilidad del equipo, no se pudo cuantificar si existen concentraciones menores a 0.0044 mg/L, por esta razón, no se puede establecer si cumple o no con los límites máximos permisibles establecidos en la normativa nacional vigente. sin embargo, no se evidencia contaminación por mercurio aguas arriba.

La evaluación de la concentración de mercurio en el tejido del pez Sábalo (*Brycon americanus*), indicó que estas en promedio son menores a 0,0044 mg/kg por lo que dentro del Río Mira no existe bioacumulación de este metal en los peces de la zona y cumple con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 183:2013 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN (2013).

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

Realizar un monitoreo de los parámetros físicos como el pH, temperatura e incluir el oxígeno disuelto, esto nos ayuda a establecer la calidad de agua y los niveles óptimos para el desarrollo de especies acuáticas.

Realizar varias investigaciones en zonas aledañas al área de estudio, con la finalidad de incluir varios ríos que forman el sistema hídrico del resto de parroquias de Imbabura.

Realizar mediciones de la concertación de mercurio con otros métodos analíticos que nos proporcionen mayor sensibilidad con la finalidad de establecer concentraciones menores a 0.0044mg/L

Socializar los resultados obtenidos de esta presente investigación con los gobiernos locales y con las comunidades de Lita, ya que, prácticas como los desalojos de basura y descargas de aguas servidas contaminan el ambiente, así como los peces que consumen estas comunidades.

Fomentar la cultura ambiental dentro de la comunidad del Río Mira, ya que como se evidenció en la presente investigación existe contaminación del agua por varios desperdicios que se arrojan en este cuerpo hídrico.

Crear en conjunto con el GAD de Lita un grupo social denominado “Guardianes del Agua” con la finalidad de vigilar y detectar a las personas causantes de contaminar el agua del río y así reducir la contaminación ambiental evidenciada en la investigación realizada.

CAPÍTULO VIII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aportela, O., & Paulino, L. (2020). Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 3(2), 32-48. doi:<https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.93>
- Arizpe, A., Peña, E., & Fuentes, H. (2017). Determinación de mercurio en pescado fresco que se comercializa en el área metropolitana de Monterrey. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 16(1), 33-38. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=74485>
- Armas, L., Acharte, L., Enríquez, A., & Asto, J. (2021). Contaminación con metales pesados en sedimentos y truchas en los ríos Opamayo y Sicra, Huancavelica-Perú. *Revista de investigación científica siglo XXI*, 1(1), 68-78. doi:<https://doi.org/10.54943/rcsxxi.v1i1.12>
- Boy, A. (2015). *Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e Hydrilla verticillata del lago de Izabal*. [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala], Repositorio USAC. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3741.pdf
- Brousett, M., Rondan, G., Chirinos, M., & Biamont, I. (2021). Impacto de la Minería en aguas superficiales de la Región Puno-Perú. *Fides et Ratio-Revista de Difusión cultural y científica de la Universidad La Salle en Bolivia*, 21(21), 187-208. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2071-081X2021000100011&script=sci_arttext
- Bustamante, L., Fernández, L., & Cueva, G. (2021). Determinación y cuantificación de mercurio total en tejido muscular de pargo (*Lutjanus colorado*), mediante la técnica de vapor frío acoplado a espectrofotometría de fluorescencia atómica. *infoANALÍTICA*, 9(1), 151-166. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8269984>

- Cadavid, N., & Arango, Á. (2020). El mercurio como contaminante y factor de riesgo para la salud humana. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(2), 280-296.
doi:<https://doi.org/10.22507/rli.v17n2a21>
- EPA. (1994). *Método 245.1 de la EPA: Determinación de mercurio en agua mediante espectrometría de absorción atómica de vapor frío*. Obtenido de Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/esam/epa-method-2451-determination-mercury-water-cold-vapor-atomic-absorption-spectrometry>
- Esmeraldas, P., & Zambrano, J. (2019). *Evaluación de la concentración de mercurio en agua y sedimento en el Río Carrizal*. [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí], Repositorio ESPAM. Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/42000/738/TMA162.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gobierno Autónomo de la Parroquia Lita. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento*. Obtenido de https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1060023040001_FASE%20DIAGNOSTICO%20GAD%20LITA%2018-05-2015_18-05-2015_20-53-28.pdf
- Gomes, M., Garcia, C., Sato, Y., Mendes, É., Miranda, M., & Costa, S. (2021). Determination and evaluation of mercury concentration in fish in the São Francisco River Watershed, Brazil. *Revista Ambiente & Água*, 16(2), 1-9. doi:<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2647>
- INEN. (1998). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo*. Obtenido de Instituto Ecuatoriano de Normalización: <https://ia803208.us.archive.org/14/items/ec.nte.2176.1998/ec.nte.2176.1998.pdf>
- Jabłońska, J., & Kluska, M. (2019). Dynamics of mercury content changes in snow in the heating season on the example of the city of Siedlce. *Environmental Protection and Natural Resources*, 30(1), 19-24. doi:<https://doi.org/10.2478/oszn-2019-0004>
- Jiménez, P. (2021). *Uso de peces y macroinvertebrados como indicadores del estado ecológico a lo largo de un gradiente altitudinal: propuesta para una evaluación ecológica de los ríos*

- bajos del noroccidente ecuatoriano*. [Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza], Repositorio UNIZAR. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=304393>
- Kim, T., Cho, M., Lee, Y., Kim, J., Hwang, J., Lee, H., & Kang, G. (2020). Methylmercury determination in fish by direct mercury analyzer. *Journal of AOAC International*, 103(1), 244-249. doi:<https://doi.org/10.5740/jaoacint.18-0254>
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 145-153. doi:[https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- MINAMBIENTE. (2018). *Protocolo para Recolección de Muestras de Peces para Análisis de Mercurio*. Obtenido de Parques Nacionales Naturales de Colombia Dirección Territorial Amazonía: <https://old.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2019/07/PROTOCOLO-PECES.pdf>
- Moscoso, C. (2003). *eterminación de metales formadores de vapor mediante generación de hidruros acoplada a espectroscopía de absorción y fluorescencia atómica*. [Tesis doctoral, Universidad da Coruña], Repositorio UDC. Obtenido de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/18385>
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. doi:<https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Pérez, A. (Septiembre de 2020). *Los ríos Mira y Mataje requieren de terapia para asegurar su conservación*. Obtenido de Series de Mongabay: <https://es.mongabay.com/2020/09/contaminacion-rio-mira-mataje-ecuador-colombia/>
- Pinedo, D., Lazaro, W., & Torres, L. (2013). Presencia de mercurio en cuenca del rio Napo. *ECIPeru: Revista del Encuentro Científico Internacional*, 9(2), 71-76. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4813762>
- Quispe, R. (2020). *Evaluación de mercurio en relaves mineros auríferos y sus efectos ambientales en suelos domiciliarios del centro poblado de Secocha*. [Tesis doctoral,

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa], Repositorio UNSA. Obtenido de <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/9278e1f6-eb13-4a95-abd2-ad2241b87a2b>

Requejo, R. (2023). *Determinación y Cuantificación de Metales Pesados (As, Cd, Hg, Pb) en la Cuenca Media del Rio Chancay–Lambayeque*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo], Repositorio UNPRG. Obtenido de https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/11152/Ren%c3%a1n_Florentino_Vidarte_Requejo.pdf?sequence=1&isAllowed=y


Rubio, D., Calderón, R., Gualtero, A., Acosta, D., & Sandoval, J. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Ingeniería y región*, 13(1), 73-90. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>

Ucros, S., & Araque, F. (2023). *Evaluación de la bioacumulación de mercurio en el bivalvo ISOGNOMON ALATUS (GMELIN, 1791) y su relación con la época Climática en Cartagena de indias, caribe colombiano*. [Tesis de pregrado, Universidad del Sinu], Repositorio UNISINUCARTAGENA. Obtenido de <http://repositorio.unisinucartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/1040/1/Evaluaci%c3%b3n%20de%20la%20bioacumulaci%c3%b3n%20de%20mercurio%20en%20el%20bivalvo.pdf>

Vargas, S., & Marrugo, J. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: riesgo por ingesta. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 232-242. doi:<https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.74128>

ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta aplicada a los pescadores de la parroquia Lita

 Pontificia Universidad Católica del Ecuador | Sede Ibarra

ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES

ENCUESTA

El propósito de la presente encuesta es recolectar información a fin de identificar la especie del pescado más representativo en la cuenca del Río Mira tramo parroquia Lita.

Les agradecemos su aporte al llenar esta encuesta con la mayor transparencia y objetividad posible, ya que la información servirá como línea base para el trabajo de titulación.

Gracias por su colaboración.

Marque con una X en el recuadro la opción que usted considere correcta

1. De la lista señale la especie de peces que usted más pesca:

Sábalo
 Sabaleta
 Lisa
 Cubo
 Bagre café o miandú
 Bagre pintado o tigrillo
 Barbudo o molonga
 Guaña
 Zapallo

2. ¿Cuántos días a la semana pesca?

Una vez por semana
 Dos o tres veces por semana
 Todos los días

3. ¿Cómo valora la calidad del pescado que usted captura?

Excelente
 Buena
 Regular
 Mala

4. ¿Qué cantidad pesca a la semana?

0 a 5 peces
 5 a 10 peces
 10 a 20 peces
 Más de 20 peces

5. ¿Cuál es la comunidad a lo largo del río Mira donde frecuentemente pesca?

.....Lita.....La bocana.....

6. ¿Usted comercializa los peces que captura?

Sí
 No

7. ¿Usted consume las especies que pesca?

Sí
 No

8. ¿Con qué frecuencia consume estas especies?

Diaria
 Semanal
 Quincenal
 No consumo

9. ¿Cómo cree usted que era la pesca hace 20 años atrás?

Mayor que ahora
 Igual que ahora
 Menor que ahora

10. Visualmente cree usted que la calidad de agua se ha deteriorado en los últimos años:

Sí
 No

¿Por qué?

Por el crecimiento de habitantes y las aguas
bervidas caso al Ba. At. Ro. Mira y la existencia
de empresas mineras en la parroquia.....

Anexo 2. Registro Fotográfico

Figura 1: Aplicación de encuesta en la comunidad de Palo Amarillo. (3 de abril de 2023).



Figura 2: Aplicación de encuesta en la comunidad de Parambas. (3 de abril de 2023).



Figura 3: Toma de muestras de agua en el punto 1, sector Parambas -1 de mayo de 2023.



Figura 4: Toma de muestras de agua en el punto 2, sector Cachaco - 14 de abril de 2023.



Figura 5: Toma de muestras de agua en el punto 3, sector la Bocana - 14 de abril de 2023.

Figura 6: Captura de peces en el río Mira punto 3 (Sector La Bocana, río Mira) - 23 de octubre de 2023.



Figura 7: Carnada para la captura de los peces. Nombre común Cuicas (*Lumbricus terrestris*) - 23 de octubre de 2023.



Figura 8: Toma de parámetros morfométricos de los peces capturados en el río Mira – 11 de noviembre de 2023.

