

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE ALTO AMAZONAS

FACULTAD DE CIENCIAS

Escuela Profesional de Ciencias Biológicas y Acuicultura



**CORRELACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE METALES
PESADOS EN AGUA Y SEDIMENTOS EN TRES ECOSISTEMAS
FLUVIALES DEL CORREDOR PETROLERO DE LA REGIÓN
LORETO**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO
ACUÍCOLA**

Presentador por: Br. Hans Marbel Pashanasi Melo

Asesor: Blgo. Juvenal Napuchi Linares. MSc.

Área de Investigación: Programa de manejo y conservación de ecosistemas
acuáticos.

Yurimaguas – Perú

2024

- i. Propósito del trabajo de investigación:** Para optar el Título Profesional de Biólogo Acuícola.

- ii. Presentado por:** Bach. HANS MARBEL PASHANASI MELO

- iii. Asesor:** Blgo. MSc. JUVENAL NAPUCHI LINARES

- iv. Lugar y año de sustentación:** Yurimaguas, Perú, 2024.

v. Dedicatoria:

Este trabajo de investigación se lo dedico a nuestro padre celestial, a mis abuelos que me criaron e inculcaron la práctica de valores y que ahora están en el cielo. Así mismo dedico a mis padres por el apoyo moral y espiritual. Finalmente dedicar este trabajo a las personas que se dedican a la Acuicultura.

vi. Agradecimiento:

- ✓ Gracias a Dios que me guió y me dio las fuerzas para continuar.
- ✓ A mi familia por su comprensión y deseos de superación.
- ✓ A la Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas por financiar y hacer posible el desarrollo del proyecto de investigación.
- ✓ A mi asesor y demás docentes investigadores presentes en el desarrollo del proyecto por el apoyo constante.
- ✓ Y a todas las personas que de una u otra manera me apoyaron para realizar este trabajo.

Tabla de Contenido

Capítulo I: Datos Generales	10
Capítulo II: Problema.....	11
2.1 Planteamiento y Formulación.....	11
2.2 Objetivos	13
2.2.1 Objetivos Generales	13
2.2.2 Objetivos Específicos.....	13
2.3 Hipótesis.....	13
2.4 Justificación e Importancia.....	14
Capítulo III: Marco Teórico.....	15
3.1 Antecedentes de la investigación	15
3.1.1 Antecedentes internacionales	15
3.1.2 Antecedentes nacionales.....	17
3.1.3 Antecedentes locales.....	20
3.2 Base teórica	21
3.2.1 Metales pesados	21
3.2.2 Contaminación de los ecosistemas acuáticos	21
3.2.3 Orígenes de Contaminación de los ecosistemas acuáticos	22
3.2.4 Vías de entrada de metales al ecosistema acuático.....	23
3.2.5 Los estandares de calidad del agua (ECA)	24
3.2.6 Límites Máximos Permisibles (LMP)	24
3.2.7 Los sedimentos, características y tipos.....	25
3.2.8 Espectrometría de absorción atómica en horno de grafito.....	27
3.3 Definición de términos básicos.....	29
CAPITULO IV: Método	31
4.1 Poblacion.....	31
4.1.1 Area de estudio	31
4.1.2 Muestra	32
4.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	35
4.3 Procedimiento.....	35
4.3.1 Técnicas de procedimiento y análisis de datos	35
4.3.2 Método de análisis de Metales Pesados.....	36
4.4 Tipo de investigación	38

Capítulo V: Resultados y discusión	40
5.1 Análisis exploratorio de las variables de estudio	40
5.2 Prueba de Normalidad.....	43
5.3 Correlacion de metales entre agua y sedimento	44
6. Conclusiones	52
7. Recomendaciones	53
8. Referencias bibliográficas.....	54
9. Anexos.	60

Índice de Tablas

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles (LMP) por MINAM - ECA.....	25
Tabla 2 Límites Máximos Permisibles (LMP) por OMS.....	25
Tabla 3 Límites Máximos Permisibles (LMP) por NOAA - EEUU.....	27
Tabla 4 Límites Máximos Permisibles (LMP) por ISGQ - Canada.....	27
Tabla 5 Medidas estadísticas de las concentraciones (ppm) de ocho metales en muestras de agua colectadas en el río Tigre (Loreto, Perú).	40
Tabla 6 Medidas estadísticas de las concentraciones (ppm) de ocho metales en muestras de agua colectadas en el río Corrientes (Loreto, Perú).....	41
Tabla 7 Medidas estadísticas de las concentraciones (ppm) de ocho metales en muestras de agua colectadas en el río Pastaza (Loreto, Perú).....	41
Tabla 8 Medidas estadísticas de las concentraciones (mg/kg) de cinco metales en muestras de sedimento en el río Tigre (Loreto, Perú).....	42
Tabla 9 Medidas estadísticas de las concentraciones (mg/kg) de cinco metales en muestras de sedimento en el río Corrientes (Loreto, Perú).....	42
Tabla 10 Medidas estadísticas de las concentraciones (mg/kg) de cinco metales en muestras de sedimento en el río Pastaza (Loreto, Perú).....	43
Tabla 11 Prueba de Normalidad – Río Corrientes.....	43
Tabla 12 Prueba de Normalidad – Río Tigre.....	44
Tabla 13 Prueba de Normalidad – Río Pastaza.....	44
Tabla 14 Resultados de los análisis de correlación de las concentraciones de ocho metales colectados en Agua (ppm) y Sedimento (mg/kg) realizados para el río Corrientes (Loreto, Perú).	45

Tabla 15 Resultados de los análisis de correlación de las concentraciones de ocho metales colectados en Agua (ppm) y Sedimento (mg/kg) realizados para el río Tigre (Loreto, Perú).....	46
Tabla 16 Resultados de los análisis de correlación de las concentraciones de ocho metales colectados en Agua (ppm) y Sedimento (mg/kg) realizados para el río Pastaza (Loreto, Perú).....	47
Tabla 17 Promedio de parámetros encontrados en el rio Pastaza.....	64
Tabla 18 Promedio de parámetros encontrados en el rio Corrientes.....	64
Tabla 19 Promedio de parámetros encontrados en el rio Tigre.....	64

Índice de Figuras

Figura 1 Espectrofotometro de absorcion atomica de la UNAAA.....	28
Figura 2 Mapa área de estudio	31
Figura 2 Recoleccion de muestras de agua	33
Figura 4 Colecta de muestras de sedimento.....	35
Figura 5 Muestras de agua obtenidas.....	37
Figura 6 Registrando las tomas de muestras	65
Figura 7 Conteo de las muestras selladas en los envases plásticos	65

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Concentración de metales pesados (ppm) encontrados en agua.	60
Cuadro 2 Concentración de metales pesados (mg/kg) en sedimento del Rio Tigre.....	61
Cuadro 3 Concentración de metales pesados (mg/kg) en sedimento del Rio Corrientes.	62
Cuadro 5 Concentración de metales pesados (mg/kg) en sedimento del Rio Pastaza.....	63

RESUMEN

El objetivo de la tesis fue determinar el grado de correlación existente entre las concentraciones de metales pesados en agua y sedimento de los ríos Tigre, Pastaza y Corrientes, así mismo, evaluar si estas concentraciones superan los estándares máximos permisibles del MINAM, OMS, NOAA Y ISQG. La colecta de muestras de agua y sedimento se realizó en un total de 36 puntos de muestreo (centro del río y orilla), para obtener muestras del sedimento utilizamos una draga, el método analítico fue con espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito y el método de correlación estadística de Pearson y Spearman utilizando el software SPSS. Los resultados muestran concentraciones altas de Fe en los cuatro ríos, sobrepasando los Límites Máximos Permisibles (LMP) del MINAM y la OMS. La concentración de Fe, Cr y Ni sobrepasan los LMP en sedimento establecidos por el NOAA y solo el Cr y Ni exceden los LMP establecidos por el ISQG. El análisis de correlación de las concentraciones de estos metales en agua y sedimento encontró relación directa alta en Fe (0.8) en el río Corrientes y el Zn (0.6) de manera moderada para el río Pastaza. Así mismo se detectó relación indirecta muy alta para el Cr (-0.80) en el río Tigre y negativa moderada para el Cu (-0.6) en el río Corrientes.

Palabras claves: Metales pesados, correlación, ecosistema acuático, sedimento.

ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the degree of correlation between the concentrations of heavy metals in water and sediment of the Tigre, Pastaza and Corrientes rivers, and to evaluate whether these concentrations exceed the maximum permissible standards of the MINAM, WHO, NOAA and ISQG. The collection of water and sediment samples was carried out at a total of 36 sampling points (center of the river and shore). To obtain sediment samples we used a dredge, the analytical method was with atomic absorption spectrophotometry in a graphite furnace and the Pearson and Spearman statistical correlation method using the SPSS software. The results show high concentrations of Fe in the four rivers, exceeding the Maximum Permissible Limits (MPL) of the MINAM and the WHO. The concentration of Fe, Cr and Ni exceed the MPL in sediment established by the NOAA and only Cr and Ni exceed the MPL established by the ISQG. The correlation analysis of the concentrations of these metals in water and sediment found high direct relation in Fe (0.8) in the Corrientes River and moderate Zn (0.6) for the Pastaza River. Likewise, a very high indirect relationship was detected for Cr (-0.80) in the Tigre River and a negative moderate relationship for Cu (-0.6) in the Corrientes River.

Keywords: Heavy metals, correlation, aquatic ecosystem, sediments

Capítulo I: Datos Generales

1.1 Título del proyecto: Correlación de las concentraciones de metales pesados en agua y sedimentos en tres ecosistemas fluviales del corredor petrolero de la región Loreto.

1.2 Proponente: Hans Marbel Pashanasi Melo

1.3 Duración del proyecto: 12 meses

1.4 Tesoro del Unesco:

Metales pesados, correlación, ecosistema acuático, sediment

Capítulo II: Problema

2.1 Planteamiento y Formulación

La contaminación del agua es un problema que afecta a las personas y a todas las criaturas que viven en ese ambiente, porque puede causar enfermedades cancerosas que amenazan el agua debido a factores biológicos, físicos y químicos o su combinación, seguridad y bienestar de los residentes (Sánchez, 2019).

En los ecosistemas acuáticos, se considera que existen tres reservorios de contaminantes: el agua, el sedimento y la biota (Pedroza et al., 2010). Además, según Zhang et al. (2016), consideran que la existencia de muchos metales pesados en el sedimento de un ecosistema acuático es una señal altísima de contaminación, por ser muy tóxicos, llegando a acumularse en los cuerpos de agua, siendo las concentraciones más altas las que se encuentran en la zona profunda. Estos contaminantes provienen de las contribuciones antrópicas, tanto domésticas como industriales (Carreño et al., 2018)

Los contaminantes de mayor preocupación son los metales pesados como cadmio, plomo, cromo y mercurio, los cuales permanecen y se acumulan en los ecosistemas acuáticos y organismos vivos, pudiendo causar toxicidad, bioacumulación, cambios bioquímicos o mutagénesis en plantas y animales (Quintero Rendón et al 2010). Esto llevó a Reyes et al. (2016) investigar el contagio de los recursos hídricos con metales pesados y metaloides que amenazan la seguridad alimentaria y la salud pública en todo el mundo.

En consecuencia, Tahity et al., (2022) mencionan que, “globalmente los cuerpos de agua naturales como los sistemas acuícolas, están gravemente contaminados por metales pesados, debido al aumento de las actividades antropogénicas”.

En la región Loreto, se encuentra el corredor petrolero más importante del país y cuenta con zonas con altos índices de contaminación, debido a los frecuentes derrames de petróleo, lo que altera las condiciones naturales de los ecosistemas acuáticos. Además, recursos valiosos como los árboles maderables y otros sembríos están amenazados debido al deterioro del ecosistema amazónico. Los efectos de este deterioro se reflejan en la flora, fauna y los problemas de salud de los habitantes de esta región (Sotero & Alva, 2013).

Bajo este contexto el propósito de este estudio es correlacionar las concentraciones de metales pesados en agua y sedimentos que permitirán tomar decisiones apropiadas que impacten directamente en la realidad sanitaria, ambiental y social de nuestra población.

2.2 Problemas de Investigación

2.2.1 Problema General

- ¿Existe correlación en las concentraciones de metales pesados que se presentan en agua y sedimentos en tres ecosistemas fluviales del corredor petrolero de la región Loreto?

2.2.2 Problemas Específicos

- ¿Existe altas concentraciones de metales pesados en el agua?
- ¿Existe altas concentraciones de metales pesados en el sedimento?
- ¿Las concentraciones analizadas de metales pesados sobrepasan los LMP establecidos por MINAM y OMS, NOAA y ISQG?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivos Generales

Determinar la correlación de las concentraciones de metales pesados que se presentan en agua y sedimentos en tres ecosistemas fluviales del corredor petrolero de la región Loreto.

2.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar las concentraciones de metales pesados existentes en el agua en tres ecosistemas fluviales del corredor petrolero de la región Loreto.
- Determinar las concentraciones de metales pesados existentes en el sedimento en tres ecosistemas fluviales del corredor petrolero de la región Loreto.
- Determinar si las concentraciones analizadas de metales pesados sobrepasan los LMP decretados por el MINAM, OMS, NOAA Y ISQG.

2.4 Hipótesis

- Existe alta correlación entre los metales presentes en agua y sedimentos de las diferentes cuencas del corredor petrolero de Loreto.
- Los sedimentos de las diferentes cuencas del Datem del Marañón y Loreto, están contaminadas con metales pesados, los cuales sobrepasan los límites permisibles establecidos por el NOAA (EEUU) Y ISQG (Canada).

- El agua de las diferentes cuencas del Datem del Marañón y Loreto, están contaminadas con metales pesados, los cuales sobrepasan los límites permisibles establecidos por el MINAM y OMS.

2.4 Justificación e Importancia

Justificación

Durante años el agua ha sido una fuente de beneficios esenciales para la población ribereña asentada a la orilla de los ríos, desconociendo su nivel de contaminación. Por lo tanto, llevar a cabo este estudio en el corredor petrolero de Loreto proporcionará información crucial para los residentes locales que dependen de los recursos alimentarios de esta zona. Esta información les permitirá conocer la presencia de agentes contaminantes que superan los límites máximos permitidos (LMP) y tomar medidas para proteger su salud y bienestar.

Importancia

Los ecosistemas fluviales de la región Loreto son altamente valiosos debido a su riqueza pesquera, su uso para riego de cultivos, medio de transporte, fuente de energía, y consumo humano. Por ello este estudio ayudará a sensibilizar sobre la importancia de la conservación y cuidado de los ecosistemas acuáticos para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Capítulo III: Marco Teórico

3.1 Antecedentes de la investigación

3.1.1 Antecedentes internacionales

Moya Cerezo (2023) analizaron la calidad de agua y sedimento, evaluando las concentraciones de metales pesados presentes en la zona costera de la Bahía de Urabá, Colombia, particularmente afectada por los ríos Atrato y León. Los resultados en el agua mostraron altos niveles de hierro, mayores concentraciones de plomo en la estación seca y niveles alarmantes de cobre en el río León. Durante la estación seca, los sedimentos tienen altas concentraciones de plomo, cadmio, cobre y zinc. Algunos metales tienen orígenes geológicos, como la minería y la deforestación, que amenazan la biota. La presencia de metales como mercurio, cadmio y zinc varía en el agua y los sedimentos y pueden estar contaminados con plomo durante la estación seca.

Tuñon et al. (2022) cuantificaron contenidos de cobre (Cu) y cadmio (Cd) en sedimentos del Estuario Farfán en Bahía Montejó, Panamá. Se recolectaron muestras de sedimento en seis estaciones usando sacatestigos de PVC de 2 pulgadas y se usaron sondas multiparamétricas para medir la salinidad del agua, la temperatura, el oxígeno disuelto y el pH. El contenido de cobre varió de 5,1 a 151,5 $\mu\text{g/g}$ y el contenido de cadmio de 0,01 a 0,18 $\mu\text{g/g}$. Se observaron diferencias significativas ($p = 0,0009$) entre las concentraciones de cobre en relación con la temporada de recolección, la arena ambiental y el pH. Los niveles de cadmio no se asociaron con las variables del estudio, la ubicación o la temporada de muestreo.

Franco et al. (2021) Estudiaron tres tramos del Canal de San Lorenzo en Paraguay, cubriendo las partes superior, media e inferior de la cuenca. Se confirmó la presencia de metales pesados en sedimentos del fondo y columnas de agua. Se ha determinado que los niveles de sedimento exceden los niveles máximos establecidos por los estándares NOAA-SQuiRT de EE.UU. Entre las tres fracciones, el Pb fue de 16 mg/kg y el Hg alcanzó un máximo de 0,092 mg/kg. Los valores de metales en agua no superan los estándares SEAM-Res. N° 222/02. Finalmente, el análisis de componentes principales de parámetros fisicoquímicos en sedimentos muestra una correlación entre materia orgánica, pH, K, P y partículas finas (arena fina y limo/ arcilla) y metales como Fe, Zn y Cr en el sitio de muestreo de Barcequillo.

Capparelli et al. (2021) recolectaron muestras de agua y sedimentos de ríos y estanques en la provincia de Napo (Ecuador) para análisis de metales y pruebas de toxicidad. Se observó que la concentración de oxígeno disuelto (OD) y sólidos suspendidos totales (SST), así como los parámetros físicos y químicos de los metales pesados cobre, hierro, plomo, aluminio y manganeso están fuera de lo aceptable, criterios de calidad, protección del agua y de los animales silvestres en agua dulce fría o cálidas según al acuerdo ministerial núm. 097-A. Además, la toxicidad potencial de las muestras indica que la calidad del agua se ha visto afectada por los contaminantes que ingresaron al agua. Casi el 90% de las muestras analizadas mostraron toxicidad, lo que indica una contaminación a largo plazo de los ríos evaluados.

Argumedo (2021) en un estudio realizado en el río Ranchería (norte de Colombia), encontró concentraciones desiguales de metales pesados en sedimentos: $Zn > Hg > Pb$, en orden descendente, lo que sugiere una relación positiva entre el tejido de los peces y las concentraciones de metales pesados en sedimentos, estadísticamente probado.

Aguirre et al. (2021) analizaron muestras de agua de Santa Marta Grande, Colombia (CGSM) para determinar concentraciones de metales pesados. Las concentraciones de plomo (Pb), cadmio (Cd), cromo (Cr) y níquel (Ni) están por debajo del valor de referencia del agua de mar. El sitio 6 informó concentraciones máximas de Pb y Cd de 17,76 y 0,48 ppb, respectivamente.

Luo et al. (2021) evaluaron metales pesados en agua y sedimentos en la cuenca del río Fenghe (FRB) de la provincia de Shaanxi (China). Utilizaron análisis de correlación de Pearson (CA), análisis de conglomerados jerárquicos (HCA), análisis de componentes principales (PCA) y modelos de factorización matricial positiva (PMF) para investigar la asociación y el origen de los metales pesados. Los resultados mostraron que la mayoría de los residuos de metales pesados en el agua estaban por debajo de los estándares de calidad ambiental pertinentes para las aguas superficiales. La mayoría de MP del sedimento superan el valor base del suelo. Las principales fuentes de contaminación en la región son la construcción y el transporte urbano, la industria electrónica, la fabricación de maquinaria y el turismo. En agua, las tasas medias de aporte de estas cuatro fuentes a los metales pesados fueron del 36,8%, 11,7%, 9,4% y 42,0%, y en sedimentos fueron del 8,0%, 29,2%, 23,9% y 38,9%.

Mero et al. (2019) Recolectaron cinco muestras de agua y sedimentos de nueve estaciones de monitoreo contaminadas con cadmio (CD) en el río Guaya (Ecuador) y sus afluentes. Ocho de las nueve estaciones de monitoreo excedieron los límites permitidos por el modelo de Ecuador y los lineamientos de calidad ambiental de Canadá debido a las altas concentraciones de cadmio en agua y sedimentos.

3.1.2 Antecedentes nacionales

Condori Apaza et al. (2023) determinaron la calidad de los sedimentos del río Locumba en la región Tacna mediante concentraciones de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn y Pb). Las muestras se recolectaron durante la temporada seca y lluviosa a una altitud de 350 a 800 msnm. Se utilizó el Manual de muestreo de sedimentos (LSSDPROC-200-R4), Estándares de calidad de la USEPA y el análisis mediante espectroscopía de plasma ICP-OES. Los niveles de concentración indican la presencia de metales pesados como el arsénico, que promedia 58 ppm por encima del estándar en 8,2 ppm de cobre y el plomo en 121 ppm;

Gil-Mora et al. (2022) recolectaron muestras para análisis de parámetros del agua del río Saphy (Cusco). Según la Agencia Nacional del Agua (ANA), se utilizó un método analítico estandarizado para agua potable y aguas residuales. El oxígeno disuelto resultó ser subóptimo y su consumo de oxígeno biológico superó en 8,6 veces el agua recomendada en las normas de calidad ambiental del agua (agua ECA) aprobadas por el Ministerio del Medio Ambiente.

García-Peña et al. (2022) correlacionaron la concentración de metales pesados en el agua potable y en las aguas superficiales del río Tumbes en el ámbito rural de Tumbes. Utilizaron la técnica de correlación de Pearson y espectroscopia de emisión atómica con técnicas de grafito. Encontrando altos niveles de plomo ($194,889 \pm 0,3182 \mu\text{g/l}$ y $99,079 \pm 0,0481 \mu\text{g/l}$) en los ríos y sistemas de agua potable cercanos a los pueblos.

Sánchez et al. (2021), investigaron la existencia de metales pesados como plomo, cromo, arsénico, mercurio y cadmio en peces del río Ichu-Huancavelica. Se tomaron muestras de cinco estaciones ubicadas a 50-100 metros del río y el método fue espectroscopía de absorción atómica. Se encontró altos niveles de As, mientras que los niveles de Cr, Cd, Pb y Hg permanecieron iguales en otras estaciones de muestreo. Los valores de As y Pb superaron las normas de calidad del agua establecidas por el ECA.

González y Murga (2020), realizaron un estudio descriptivo transversal para identificar la presencia de metales pesados en las lagunas San Juan, Huallaga, Tingo Palca y Punrún de Pasco. Los resultados mostraron que la concentración de algunos metales en los ríos San Juan, Huallaga y Tingo exceden los límites máximos permisibles, debido principalmente a la presencia de empresas industriales en sus recorridos, destacando que el río San Juan es el más contaminado.

Belizario Quispe et al. (2019) calcularon las concentraciones de contaminantes por metales en las aguas superficiales del río Coata, afluente del lago Titicaca en la región Puno. Utilizando tecnología de plasma acoplado inductivamente (ICP) que consta de una fuente de ionización y un espectrofotómetro de emisión óptica (OES). La concentración se calculó mediante espectrometría de emisión atómica. Se obtuvo las siguientes medidas: aluminio 1,043 mg/L, hierro 0,856 mg/L, Manganeseo 0,460 mg/L, arsénico 0,029 mg/L y fósforo 10,287 mg/L; valores que superan las normas del MINAM. Así, la contaminación de las aguas abiertas del río se origina por la descarga incontrolada y sin tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos provenientes de Juliaca - Puno, Perú.

3.1.3 Antecedentes locales

Rengifo et al (2016) realizaron un estudio cuantitativo, no experimental, transversal, para cuantificar el mercurio en peces, agua y sedimentos del río Napo mediante espectrofotometría de absorción atómica con un generador de hidruros. Durante la época seca se monitorearon cuatro estaciones: Mazén, Nuevo Libertad, San Luis, Santa Clotilde. Según la FDA, el contenido de mercurio en el pescado es de 0,004 a 1936 mg/kg, el contenido de mercurio en el agua es de 0,023 a 0,027 mg/L y el contenido de mercurio por kilogramo es $>1,0$ mg, lo que excede el nivel establecido por la legislación nacional del MINAM (0,0001 mg/L). En los sedimentos, el 93,75% de las muestras contenían contenidos de mercurio superiores a 1,0 mg/kg.

Chota et al. (2014) determinaron la calidad del medio ambiente y analizaron la concentración de metales pesados en el agua y sedimentos de los ríos Curaray, Arabela y Napo durante su crecida y descarga en el año 2012. Los resultados de agua en siete estaciones mostraron estar libre de metales pesados excepto la estación 1 del río Curaray. Los sedimentos estuvieron por debajo del estándar internacional, excepto del Cu en la Estación 1 del Río Napo. Durante el proceso de drenaje los sedimentos la Estación 3 del río Curaray, se reportaron concentraciones de mercurio por encima del nivel permisible (0,27 a 0,30 mg/kg) en los sedimentos.

Sotero y Alva-Astudillo (2013) identificaron las concentraciones de metales pesados en músculos de pescado recolectados en mercados urbanos de Iquitos en 2011. Utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EEA) acoplado a una cámara de vapor frío. Los resultados superaron los límites estándar internacionales para plomo y cromo en comparación con las tasas máximas, tanto en vaciante como en creciente. Para el mercurio, nada de las variedades analizadas superó el límite máximo permisible en comparación con el valor reportado según las normas internacionales.

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Metales pesados

Los metales tóxicos As, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Ti, Se y Pb han sido clasificados como contaminantes importantes por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA). La Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR) enumera el plomo, el mercurio, el arsénico y el cadmio como las sustancias más peligrosas.

Los metales pesados se dividen en:

1.Oligoelementos o micronutrientes: estos son requeridas en bajas porciones por un organismo para completar su ciclo de vida. Pero por encima de cierto umbral, se vuelve tóxico. Este grupo incluye As, B, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.

2.Metales pesados con función biológica desconocida: cuando están presentes en cierta cantidad en un organismo, provocan un mal funcionamiento de organismo. Estos son tóxicos y se acumulan rápidamente in vivo. En este grupo se incluyen cadmio, mercurio, plomo, cobre, níquel, antimonio y bismuto, que están presentes en el medio ambiente en concentraciones que pueden ser perjudiciales para la salud.

3.2.2 Contaminación de ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos más vulnerables son los humedales altiplánicos andinos y amazónicos debido a varios factores, uno de los cuales es la contaminación por metales pesados. (Jara-Peña et al.,2017).

3.2.2.1 Indicadores de la calidad del agua

Los principales son: Temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez, dureza, salinidad, sólidos totales disueltos, contaminantes químicos, contaminantes biológicos, etc.

3.2.2.2 Impactos de la contaminación de un ecosistema acuático

Enfermedades graves para los seres vivos y en el caso del ecosistema acuático provoca la pérdida de la biodiversidad. Además, si decidimos usar para la agricultura, puede resultar contaminando los suelos y los cultivos, afectando la cadena alimentaria.

3.2.3 Orígenes de contaminación en ecosistemas acuáticos según actividades

La existencia de metales pesados en el agua puede estar asociada con las acciones humanas. Como resultado, los metales pesados tienden a situarse en los sedimentos de los ríos, lo que hace que estos ríos sean importantes rutas de transporte de elementos químicos.

- a) La contaminación de origen natural se debe a la descomposición de las rocas y a los procesos de erosión a los que están sometidos los materiales que las componen.
- b) El uso incontrolado de materias primas agroquímicas en el sector agrícola amenaza con la modificación de elementos químicos, físicos y biológicos del medio ambiente.
- c) Las cuencas y microcuencas son la principal fuente de agua para la producción y el consumo agrícola, y en estas zonas suelen establecerse ciudades y centros de población, por lo que existe una necesidad urgente de cuantificar la presencia de metales.

- d) Los altos niveles de industrialización y urbanización plantean riesgos importantes de contaminación por metales pesados, especialmente en sedimentos anaeróbicos y ricos en sulfuros, que promuevan la retención y acumulación de metales.
- e) La principal fuente de metales pesados en los sistemas hídricos son los efluentes industriales que utilizan los arroyos como vertederos. Estas emisiones a menudo no se limpian o tratan de forma adecuada.
- f) En los residuos cotidianos se transportan varios metales, que se hallan en los desechos humanos, en los residuos de alimentos, en el agua de lavado, etc.
- g) En nuestra zona de estudio existe los constantes derrames de petróleo. Los desechos líquidos de estos contienen importantes concentraciones de metales pesados.

3.2.4 Vías de entrada de los metales pesados en los ecosistemas acuáticos

Existen tres vías principales de entrada de metales pesados:

- Vía atmosférica: se produce por la deposición de partículas liberadas a la atmósfera por procesos naturales o provocados por el hombre, principalmente la quema de combustibles fósiles y la fundición de metales.
- Vía Terrestre: producto de escurrimientos residuales y superficiales de terrenos contaminados (minas, purines de estiercol, lixiviación de residuos sólidos, precipitaciones atmosféricas, etc.) y otros orígenes naturales.
- Vía directa: las aguas residuales industriales y domésticas se vierten directamente a los ríos.

3.2.5 Los estándares de calidad ambiental del agua (ECA)

En el Perú están actualmente establecidos por el Decreto Supremo N°. 004-2017-MINAM (Ministerio de Medio Ambiente). Determina los niveles de concentración de aquellos elementos, sustancias, parámetros fisicoquímicos y biológicos en el agua que, como receptores y componentes esenciales de los ecosistemas acuáticos, no suponen un riesgo para la salud humana ni para el medio ambiente, pero sí supondrán un riesgo significativo.

3.2.6 Límites Máximos Permisibles (LMP)

Es una medida de la concentración de un elemento, sustancia o parámetro. Las propiedades físicas y biológicas de las aguas residuales pueden dañar la salud humana, el bienestar y el medio ambiente. El LMP es compatible con los niveles de protección ambiental generales y específicos de la fuente establecidos por la ECA. Al implementar estas herramientas, es importante garantizar que no se exceda la capacidad de carga del ecosistema y que se sigan las regulaciones pertinentes. (MINAM, 2021).

Tabla 1.

Límites Máximos Permisibles (LMP) por MINAM / ECA

Metal	Símbolo	Unidad de medida	LMP
Arsénico	As	mg/l	0,15
Cadmio	Cd	mg/l	0,00025
Cromo	Cr	mg/l	0,011
Cobre	Cu	mg/l	0,1
Hierro	Fe	mg/l	0,3
Níquel	Ni	mg/l	0,052
Plomo	Pb	mg/l	0,0025
Zinc	Zn	mg/l	0,12

Fuente: D.S. N° 004-2017-MINAM

Tabla 2.*Límites Máximos Permisibles (LMP) por OMS*

Metal	Símbolo	Unidad de medida	LMP
Arsénico	As	mg/l	0,01
Cadmio	Cd	mg/l	0,003
Cromo	Cr	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2
Hierro	Fe	mg/l	0,03
Níquel	Ni	mg/l	0,02
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Zinc	Zn	mg/l	3

Fuente: OMS (1993) – Boletín informativo Génova.

3.2.7 Los sedimentos

Los sedimentos se forman por fenómenos naturales (como las rocas o la erosión) y las partículas luego son transportadas por el viento o el agua (como las precipitaciones meteorológicas o la circulación de aguas superficiales o subterráneas). En resumen, los depósitos se forman por causas naturales.

3.2.7.1 Características

- **Tamaño del grano:** Dependiendo del tamaño de los granos de sedimento, estos se dividen en diferentes clases de partículas.
- **Composición:** La composición química de los sedimentos también es importante porque permite distinguir entre diferentes tipos de minerales.
- **Perfil del grano:** Se le define en función de acuerdo a la forma, redondez y textura de la superficie.

3.2.7.2 Tipos y funciones

- **Sedimentos detríticos (clásticos):** Depósitos provocados por la meteorización mecánica. Estos depósitos son provocados por fenómenos naturales como el viento, los cambios de temperatura y las precipitaciones.
- **Sedimentos químicos:** Estas sales minerales se precipitan por evaporación del agua en la que están disueltas o por reacciones químicas que producen sustancias insolubles.
- **Sedimentos bioquímicos:** Consisten en restos inorgánicos de seres vivos, como huesos, conchas, púas, etc.
- **Sedimentos orgánicos:** Formado a partir de restos orgánicos de seres vivos, como troncos de árboles, ramas o restos de microorganismos.

3.2.7.3 Impacto de los sedimentos en el ecosistema acuático

La acumulación excesiva de sedimentos puede tener consecuencias catastróficas. Cuando se produce la erosión del suelo en áreas afectadas por la actividad humana, como la deforestación o la agricultura intensiva, los sedimentos pueden ingresar a los cursos de agua. Esto hará que el agua se vuelva turbia, reduciendo así la penetración de la luz solar y afectando la fotosíntesis de las plantas acuáticas. Además, los sedimentos pueden contener nutrientes y productos químicos como fertilizantes o pesticidas adheridos a sus partículas. Estos contaminantes pueden dañar los organismos acuáticos alterando su ciclo de vida, su capacidad de reproducirse y desarrollarse normalmente.

Tabla 3.

Límites Máximos Permisibles (LMP) por NOAA- SQRT (EEUU)

Metal	Símbolo	Unidad de medida	LMP
Arsénico	As	mg/kg	1,1
Cadmio	Cd	mg/kg	0,3
Cromo	Cr	mg/kg	13
Cobre	Cu	mg/kg	25
Hierro	Fe	mg/kg	18000
Níquel	Ni	mg/kg	9,9
Plomo	Pb	mg/kg	17
Zinc	Zn	mg/kg	38

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration – Screening Quick Reference Tables (NOAA – SquiRTs).

Tabla 4. Límites Máximos Permisibles (LMP) por ISQG (Canada)

Metal	Símbolo	Unidad de medida	LMP
Arsénico	As	mg/kg	5,9
Cadmio	Cd	mg/kg	0,6
Cromo	Cr	mg/kg	37,2
Cobre	Cu	mg/kg	35,7
Hierro	Fe	mg/kg	18000
Níquel	Ni	mg/kg	18
Plomo	Pb	mg/kg	35
Zinc	Zn	mg/kg	123

Fuente: Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life – 1995.

3.2.8 Espectrofotometría de absorción atómica en Horno de Grafito

Es un método de análisis instrumental que puede detectar diversos elementos, principalmente elementos metálicos. El principio general de este método es medir la energía absorbida de un elemento químico, la cual debe determinarse después de que una radiación luminosa monocromática específica haya incidido sobre una muestra que contiene dicho elemento. La radiación absorbida está determinada por la diferencia entre la radiación incidente (inicial) y la radiación después de la interacción con la muestra.

3.2.8.1 Componentes del Espectrofotometría de absorción atómica en Horno de Grafito

Los componentes básicos del espectrómetro de absorción atómica con horno de grafito son: una fuente de energía de radiación emitida en la longitud de onda del elemento de interés y un sistema de pulverización Catódica que proporciona la energía térmica necesaria para la disociación del analito y la formación de átomos libres. Combinar para obtener los datos resultantes.

El espectrofotómetro de absorción atómica de la UNAAA funciona con gases nitrogenadas, como el argón.

Figura 1. *Espectrofotómetro de absorción atómica con horno de grafito – UNAAA*



3.3 Definición de términos básicos

Absorción Atómica: Técnica de detección de muestras ambientales, aire, suelo y agua, así como minerales, alimentos, productos químicos, aleaciones y metales en fundiciones.

Agua: El agua es una de las sustancias más abundantes en la tierra y la única sustancia de la atmosfera que existe en estado líquido, sólido y gaseoso. En el Perú, las aguas amazónicas están directamente influenciadas por la presencia de los Andes y juntas forman los ríos. Albergan un ecosistema acuático muy diverso y son sustento de las pesquerías y alimento para sus pobladores (WCS PERÚ, 2010).

Arsénico: El arsénico es cancerígeno y puede provocar una serie de efectos negativos a corto plazo en la salud humana. (Medina et al., 2018).

Bioacumulación: Referente a la acumulación general de metales en el cuerpo a lo largo del tiempo, tanto de fuentes bióticas y abióticas.

Biocontaminación: Es la presencia de sustancias extrañas creadas por el hombre en el medio ambiente (basura, pesticida, agua sucia), lo que altera la forma en que se construyen y funcionan los ecosistemas.

Cadmio: Su efecto tóxico aparece especialmente en los huesos y riñones, y es particularmente vulnerable a estos efectos adversos (Pérez et al., 2012).

Calidad del agua: Tienen propiedades químicas, físicas y biológicas aptas para diversos usos: consumo humano, agricultura, ganadería, industria, producción de electricidad, recreación, protección de funciones ecosistémicas (Gil-Mora et al., 2022).

Cobre: En el agua aparecen como trazas, es decir, menos de 1 mg/l, se detecta relativamente toxicidad como una contribución de alimentos.

Contaminación del agua: Se trata de cambios inducidos por el hombre en la calidad del agua utilizada para el consumo, la industria, la agricultura, la pesca y la recreación privada. (López et al., 2021).

Cuenca: son regiones con agua que desembocan todas en el mismo río, lago u océano.

Mercurio: Pertenece a los diez productos o grupo de productos químicos dañinos a la salud pública. Su forma varía debido al grado de toxicidad y efectos en los organismos vivos (OMS, 2017).

Metales Pesados: Conjunto de elementos químicos algo tóxico para las personas y que tienen una alta densidad.

Metales pesados bioacumulables: Es un aumento en la concentración de sustancias químicas en los organismos biológicos.

Niveles de contaminación: Es el conjunto de contaminantes presentes en el aire o depositados en las superficies durante un periodo de tiempo.

Oligoelementos: estos son minerales extraídos de la tierra. Se encuentran en nuestro organismo en cantidades mucho menores que los principales minerales.

Plomo: El plomo puede ser insoluble en los ríos cuando se une a partículas orgánicas o inorgánicas, o se disuelve en forma de quelatos o complejos inorgánicos. Algunas especies de plantas toleran muy bien el plomo de la superficie, haciéndose complejo con los humus (Pezo et al., 1992).

Recurso hídrico: son los cuerpos de agua, por ejemplo: los océanos, ríos, lagos, arroyos y lagunas.

Toxicidad: es un término que se refiere al potencial dañino para un organismo vivo

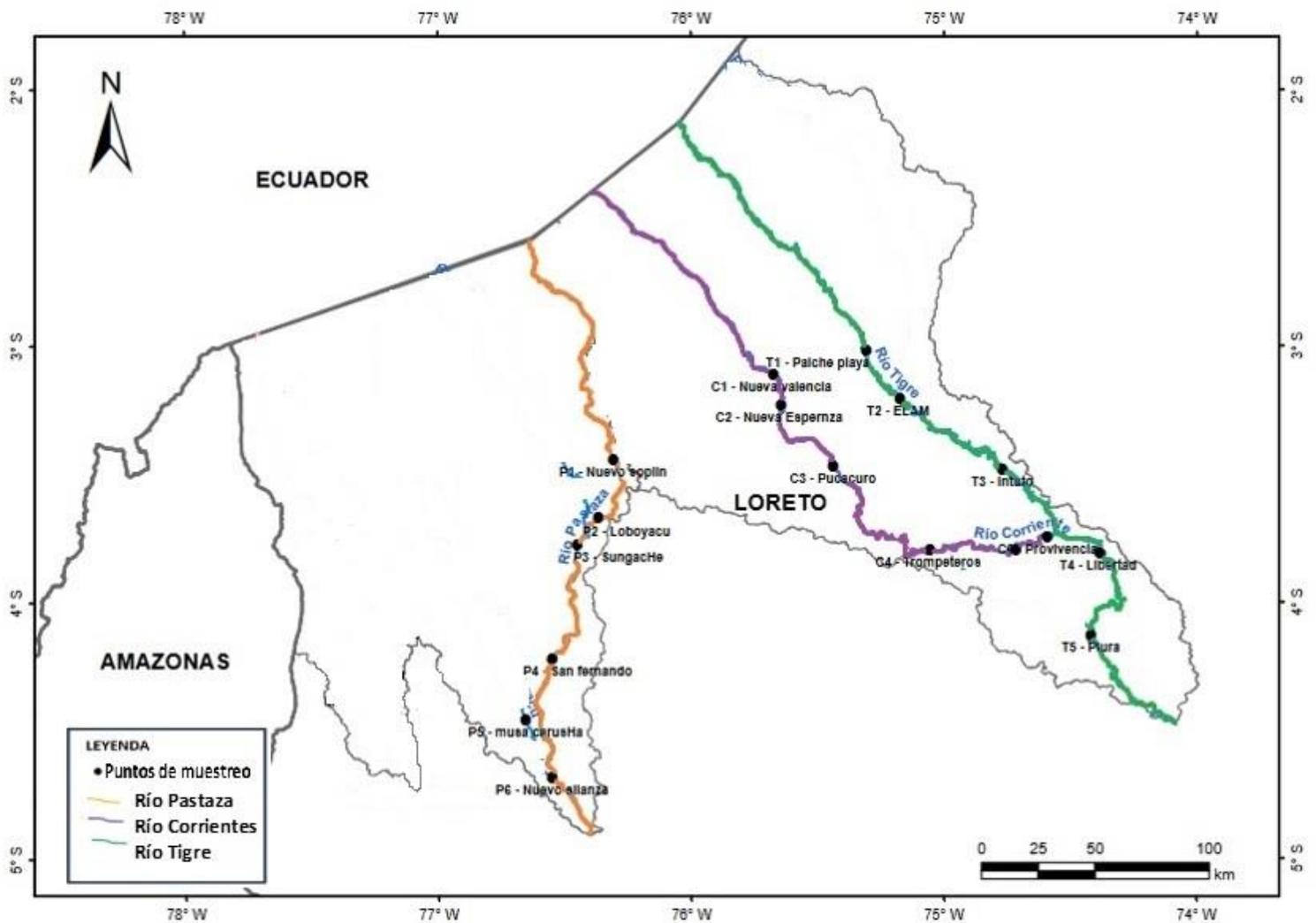
CAPITULO IV: Método

4.1 Población

4.1.1 Descripción de área de estudio

Nuestro lugar de estudio son los ecosistemas fluviales del Corredor petrolero de las provincias de Datem del Marañón y Loreto en la región Loreto; ubicados en el nor oriente: Pastaza, Tigre y Corrientes. Los mapas se elaboraron utilizando el software ArcGIS versión 10.8, con la ayuda de los puntos recogidos del GPS

Figura 2. Mapa del Área de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Muestra

a) Muestreo de agua

El muestreo se realizó de acuerdo con el Programa de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (2010) desarrollado por la Dirección General de Calidad de Recursos Hídricos (DGCRH) y la Junta Estatal del Agua, siguiendo las secciones 6.4 y 6.15 de los Métodos de Muestreo de Aguas Superficiales (Método de muestreo de ríos o quebradas), que Consiste en los siguientes pasos:

1. Las muestras de agua deben tomarse lo más cerca posible del centro de la masa de agua (río, arroyo) y aguas arriba del flujo de agua para evitar cambiar las condiciones reales. Si las condiciones no son adecuadas para el muestreo de una masa de agua, se pueden utilizar barreras telescópicas diseñadas adecuadamente para tomar muestras lo más lejos posible de la costa, donde la turbulencia sea mínima y las condiciones sean uniformes en toda la masa de agua.
2. Si no es posible recolectar muestras del medio del río debido a fuertes corrientes, profundidad, falta de elementos de seguridad o apoyo logístico necesario, los puntos de muestreo deben ubicarse en la orilla o en un punto de muestreo adecuado donde se encuentren la muestra representativa del agua.

Medir el flujo de agua es difícil debido a los canales irregulares, presencia de rocas, la profundidad y la turbulencia. Para aproximar el flujo real, se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Encuentre la parte del cuerpo de agua que este más cercana al punto de monitoreo y tenga el cauce más uniforme.
- Siempre que posible, retire materiales u objetos que bloqueen el flujo de agua.
- Tome las medidas de velocidad a lo largo de las líneas horizontales en los bordes izquierdo, derecho y central del cuerpo de agua. considere lecturas a media altura en cada profundidad.
- Mida la altura respectiva de cada punto de medición de velocidad. Luego use cinta métrica para medir el ancho del cuerpo de agua.
- El resultado de la medición del caudal se determinará utilizando el valor medio de los valores obtenidos.

Figura 3. *Recolección de muestras de agua.*



Posteriormente las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Biotecnología de la UNAAA para analizarlos en el espectrofotómetro de absorción atómica y determinar los parámetros físicos – químicos. Estas muestras estuvieron

conservadas en HNO_3 1:1 en recipientes de polietileno estériles, los cuales fueron almacenados a 4°C .

Las muestras de agua acidificadas se filtraron por el flujo de llama del espectrofotómetro de absorción atómica, se atomizaron, luego pasa al prisma donde existe una lampara con el símbolo de los metales, finalmente emite energías al detector para conocer la cantidad del metal medido. Se prepararon estándares y para la interpretación de cálculos se realizó una curva patrón.

b) Muestreo de sedimento

El muestreo se realizó según el protocolo del Ministerio de la Producción, basado en la Resolución Ministerial N° 293-2013. Apartado 6.6.4 – B2.

Manipulación y preservación de muestras, que consiste en los siguientes pasos:

- a) Las muestras se toman mediante una draga tipo Van Veen con un área de mordida de $0,05 \text{ m}^2$ y operada desde una embarcación amarrada. Se deben recolectar muestras apropiadas en cada estación de muestreo.
- b) Después de recolectar la muestra del fondo, todo el contenido de lodo se vierte en una bolsa de malla de 300 mm y se enjuaga con agua, eliminando con cuidado todo el lodo.

Luego, el material reservado se transfiere con cuidado a un recipiente de plástico previamente etiquetado. La muestra debe conservarse en una solución de formalina al 10% neutralizada con bórax. Posteriormente las muestras colectadas fueron almacenadas en matraces de plástico (300 cm^3) en oscuridad y se mantuvo a 4°C hasta su análisis en laboratorio certificado ALS en Lima.

Figura 4. *Colecta de muestras de sedimento.*



4.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó una draga, bandejas, soga de cabo, GPS, cuaderno de apuntes, lapicero, dispositivos mecánicos (cámara fotográfica), mapas, recipientes de polietileno estériles para colocar las muestras recogidas. Toda la información de recolección de muestras esta archivada en una laptop.

4.3 Procedimiento

4.3.1 Técnicas de procedimiento y análisis de datos

Para esta investigación aplicamos estadística descriptiva e inferencial. Las concentraciones de metales pesados en agua y sedimentos se analizaron mediante métodos estadísticos como la media, la mediana y la desviación estándar. Luego utilice la prueba estadística del coeficiente de correlación de Pearson y Spearman. Los resultados están claros y concisos, utilizamos tablas, gráficos y otras ayudas visuales para interpretar los resultados.

4.3.2 Método de análisis de metales pesados

Las metodologías seleccionadas y expuestas en este apartado son pertenecientes a la Agencia de Protección Ambiental (EPA) normalizados, que consiste en analizar muestras para determinar la identidad y concentración de los componentes específicos de la muestra. Los métodos analíticos generalmente incluyen información sobre la recolección, transporte y almacenamiento de muestras, especifican procedimientos para la concentración, separación, identificación y cuantificación de los componentes de la muestra, especifican que estándares de control de calidad deben cumplir los requisitos de datos analíticos y especifica cómo está estructurada la estructura de informes analíticos.

La fundamentación experimental de los análisis de las diferentes muestras expuestas a continuación es válida para el uso de los siguientes equipos: Espectrofotometría de absorción atómica de llama (FLAA), espectrofotometría de absorción atómica de grafito (GFAA).

a) Aguas

Se obtuvo 12 muestras para los ríos Pastaza, Tigre y Corrientes, haciendo un total de 36 muestras. Todas las muestras contenían un conservante ácido para mantener el buen estado y su posterior tratamiento y análisis de metales. Dichas muestras estuvieron dentro de botellas estériles de polietileno (capacidad de 250 ml) sellados, rotuladas y colocados dentro una nevera. Para determinar los metales pesados presentes en el agua se utilizó el método del EPA 3010, A. basada en digestión ácida con ácido nítrico y ácido clorhídrico a temperaturas de 90°C – 95°C bajo campana de extracción o con biodigestor horno microondas modelo MARS 6-SEM. La lectura de los metales se realizó en el equipo de

Absorción Atómica con horno de grafito marca ThermoCientific ICE – serie 3000 en el laboratorio de Biotecnología de la UNAAA.

Figura 5. *Muestra de agua obtenidas.*



b) Sedimentos

Se obtuvo 12 muestras para los ríos Pastaza, Tigre y Corrientes, haciendo un total de 36 muestras. Todas las muestras fueron rotuladas en botellas estériles de polietileno (capacidad de 50 g) y se guardaron en una nevera con hielo. Para determinar los metales pesados presentes en el sedimento se utilizó el método del EPA 3050, B. basada en digestión ácida con ácido nítrico a temperaturas de 90°C – 95°C bajo campana de extracción o con biodigestor horno microondas modelo MARS 6-SEM. Las muestras fueron trasladadas y analizadas en el Laboratorio Acreditado ALS – Lima.

4.3.3. Actividades desarrolladas para recolectar las muestras:

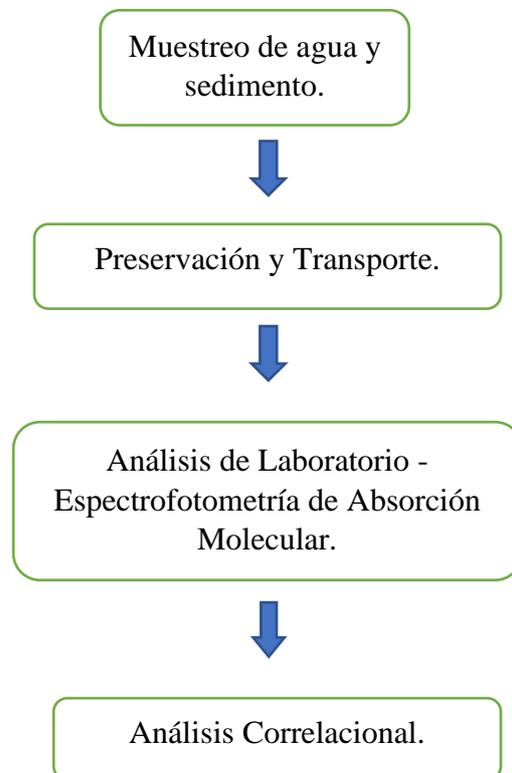
- Viaje a las zonas de estudio.
- Geolocalización de cada punto de colecta.
- Muestreo de agua y sedimento.
- Para cumplir estas actividades se contrataron 2 embarcaciones fluviales, una para recorrer los ríos Tigre y Corrientes; y el segundo para recorrer los ríos Pastaza. El viaje tuvo una duración de un mes aproximadamente.
- El muestreo de aguas para análisis de metales pesados.
- El muestreo de sedimentos para análisis de metales pesados.

4.4 Tipo de investigación

Tipo Descriptivo y Nivel Correlacional. Utilice un diseño no experimental.

Correlacionando las concentraciones de los diversos metales pesados (agua y sedimentos) en tres ríos amazónicos de origen andino (ríos Tigre, Corrientes y Pastaza) mediante métodos de recolección de información y métodos de procesamiento y análisis de información. En el primer caso, los datos se obtuvieron de fuentes primarias de muestreo y se utilizó el laboratorio de biología (UNAAA) para su procesamiento.

Se realizó el siguiente diagrama de flujo de la figura:



Capítulo V: Resultados y discusión

5.1 Análisis exploratorio de las variables de estudio

5.1.1 Valores estadísticas en el agua

En las siguientes tablas estadísticas, enumeramos los valores de los siguientes

metales: cromo (Cr), hierro (Fe), níquel (Ni), cobre (Cu), zinc (Zn), arsénico (As), cadmio

(Cd) y plomo (Pb).

Tabla 5.

Medidas estadísticas de las concentraciones (ppm) de ocho metales en muestras de agua colectadas en el río Tigre (Loreto, Perú).

Metal	Medidas estadísticas - Río Tigre				LMP	
	Media	Mediana	Rango	DS	MINAM-ECA	OMS
Cr	0,01520	0,01549	0,00717-0,01987	0,00356	0,011	0,05
Fe	0,90536	0,90080	0,75989-1,20640	0,11465	0,3	0,03
Ni	0,000119	0,00108	0,00093-0,00155	0,00031	0,052	0,02
Cu	0,00334	0,00334	0,00233-0,00472	0,00067	0,1	2
Zn	0,01632	0,01507	0,00977-0,03993	0,00796	0,12	3
As	0,00028	0,00026	0,00019-0,00035	0,00007	0,15	0,01
Cd	0,00009	0,00009	0,00006-0,00010	0,00003	0,00025	0,003
Pb	0,00134	0,00133	0,00107-0,00194	0,00033	0,0025	0,01

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla, las medidas estadísticas del Fe sobrepasan los estándares del MINAM y

OMS. Además, la media, mediana y rango del Cr superan los estándares del MINAM.

Tabla 6.

Medidas estadísticas de las concentraciones (ppm) de ocho metales en muestras de agua colectadas en el río Corrientes (Loreto, Perú).

Metal	Medidas estadísticas - Río corrientes				LMP	
	Media	Mediana	Rango	DS	MINAM-ECA	OMS
Cr	0,01276	0,01259	0,00643-0,01812	0,00290	0,011	0,05
Fe	0,68202	0,68814	0,52008-0,83515	0,10728	0,3	0,03
Ni	0,00078	0,00068	0,00057-0,00132	0,00023	0,052	0,02
Cu	0,00202	0,00184	0,00142-0,00411	0,00075	0,1	2
Zn	0,01600	0,01550	0,01046-0,02844	0,00489	0,12	3
As	0,00020	0,00021	0,00015-0,00025	0,00003	0,15	0,01
Cd	0,00004	0,00003	0,00002-0,00008	0,00002	0,00025	0,003
Pb	0,00112	0,00102	0,00075-0,00183	0,00032	0,0025	0,01

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla, las medidas estadísticas del Fe sobrepasan los estándares del MINAM y OMS. Además, la media, mediana y rango del Cr superan los estándares del MINAM.

Tabla 7.

Medidas estadísticas de las concentraciones (ppm) de ocho metales en muestras de agua colectadas en el río Pastaza (Loreto, Perú).

Metal	Medidas estadísticas - Río Pastaza				LMP	
	Media	Mediana	Rango	DS	MINAM-ECA	OMS
Cr	0,01201	0,01125	0,01008-0,01306	0,00191	0,011	0,05
Fe	1,19249	1,10745	0,92867-1,49402	0,23989	0,3	0,03
Ni	0,00266	0,00248	0,00145-0,00514	0,00113	0,052	0,02
Cu	0,00948	0,00925	0,00693-0,01210	0,00201	0,1	2
Zn	0,01043	0,00912	0,00638-0,01777	0,00395	0,12	3
As	0,00078	0,00078	0,00064-0,00092	0,00009	0,15	0,01
Cd	0,00011	0,00011	0,00007-0,00019	0,00004	0,00025	0,003
Pb	0,00068	0,00068	0,00048-0,00098	0,00015	0,0025	0,01

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla, las medidas estadísticas del Fe sobrepasan los estándares del MINAM y OMS. Además, la media del Cr supera los estándares del MINAM.

5.1.2 Valores estadísticas en el sedimento

En las siguientes tablas estadísticas, proporcionamos valores para los siguientes metales:

Cromo (Cr), Hierro (Fe), Níquel (Ni), Cobre (Cu) y Zinc (Zn). No se incluyen los datos de los siguientes metales: arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb), ya que todas las mediciones realizadas arrojaron < 0 .

Tabla 8.

Medidas estadísticas de las concentraciones (mg/kg) de cinco metales en muestras de sedimento colectadas en el río Tigre (Loreto, Perú).

Metal	Medidas estadísticas - Río Tigre				LMP	
	Media	Mediana	Rango	DS	NOAAA-EEUU	ISQG-CANADA
Cr	7,53	6,3	1,9-16	4,77	13	37,2
Fe	5671,50	4835,50	1911-12585	3569,62	18000	18000
Ni	7	7	3,6-10,4	2,28	9,9	18
Cu	4,24	3,20	2,2-8,4	2,49	25	37,2
Zn	16,89	13,25	5,4-38,4	10,52	38	123

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla, el rango del Cr sobrepasa los LMP del NOAAA.

Tabla 9.

Medidas estadísticas de las concentraciones (mg/kg) de cinco metales en muestras de sedimento colectadas en el río Corrientes (Loreto, Perú).

Metal	Medidas estadísticas – Río Corrientes				LMP	
	Media	Mediana	Rango	DS	NOAAA-EEUU	ISQG-CANADA
Cr	11,58	10,10	3,2-35,3	9,23	13	37,2
Fe	7160,17	5885	2366-14376	4059,37	18000	18000
Ni	10,57	10,40	3,1-21,1	5,77	9,9	18
Cu	4,58	2,70	2,1-8,7	2,98	25	37,2
Zn	20,78	17,90	8,9-37,6	9,32	38	123

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla, el rango del Cr supera al NOAAA, además la media, mediana y rango del Ni superan los LMP del NOAAA

Tabla 10.

Medidas estadísticas de las concentraciones (mg/kg) de cinco metales en muestras de sedimento colectadas en el río Pastaza (Loreto, Perú).

Metal	Medidas estadísticas - Río Pastaza				LMP	
	Media	Mediana	Rango	DS	NOAAA-EEUU	ISQG-CANADA
Cr	17,85	16,4	12.50-24	4,06	13	37,2
Fe	15543	14907	12993-19773	2018,40	18000	18000
Ni	47,10	42,35	27,50-95,10	18,67	9,9	18
Cu	9,31	7,6	5,80-18	3,95	25	37,2
Zn	31,94	31,65	25-39,50	4,19	38	123

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla, la media, mediana y rango del Cr superan los estándares de NOAA y las medidas estadísticas del Ni superan los estándares de NOAA y ISQG.

5.2. Prueba de Normalidad.

Realizamos esta prueba para comprobar si los datos obtenidos siguen una distribución normal. Esto es muy importante para determinar si es paramétrico o no paramétrico. Se realizaron pruebas de normalidad para cada cuenca y se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk.

Tabla 11

Tabla de Normalidad - Río Corrientes

Prueba de Normalidad Río Corrientes				
Metales	Tipo de Prueba	Valores	Paramétrica	No Paramétrica
Cr	Shapiro-Wilk	0,7	X	
Fe	Shapiro-Wilk	0,1	X	
Ni	Shapiro-Wilk	0,01		X
Cu	Shapiro-Wilk	0,002		X
Zn	Shapiro-Wilk	0,06	X	
As	Shapiro-Wilk	0,6	X	
Cd	Shapiro-Wilk	0,002		X
Pb	Shapiro-Wilk	0,06	X	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12*Tabla de normalidad – Río Tigre*

Prueba de Normalidad Río Tigre				
Metales	Tipo de Prueba	Valores	Paramétrica	No Paramétrica
Cr	Shapiro-Wilk	0,2	X	
Fe	Shapiro-Wilk	0,1	X	
Ni	Shapiro-Wilk	0,01		X
Cu	Shapiro-Wilk	0,7	X	
Zn	Shapiro-Wilk	0,2	X	
As	Shapiro-Wilk	0,2	X	
Cd	Shapiro-Wilk	0,01		X
Pb	Shapiro-Wilk	0		X

Fuente: Elaboración propia.**Tabla 13***Prueba de Normalidad – Río Pastaza*

Prueba de Normalidad Río Pastaza				
Metales	Tipo de Prueba	Valores	Paramétrica	No Paramétrica
Cr	Shapiro-Wilk	0,2	X	
Fe	Shapiro-Wilk	0,1	X	
Ni	Shapiro-Wilk	0,2	X	
Cu	Shapiro-Wilk	0,1	X	
Zn	Shapiro-Wilk	0,9	X	
As	Shapiro-Wilk	0,7	X	
Cd	Shapiro-Wilk	0,3	X	
Pb	Shapiro-Wilk	0,7	X	

Fuente: Elaboración propia.

5.3 Correlación de metales pesados entre agua y sedimento.

Se realizaron correlaciones utilizando el software SPSS, revelando correlaciones inversas (negativas) entre las variables de metales encontrados en el río Corrientes (Cr, Ni y Zn) y río Tigre (Cr, Fe, Ni, Cu y Zn). Mientras el río Pastaza presenta una correlación positiva leve de 0.2 y un coeficiente moderado de 0.6 con el Ni.

Tabla 14

Resultados de los análisis de correlación de las concentraciones de ocho metales colectados en Agua (ppm) y Sedimento (mg/kg) realizados para el río Corrientes (Loreto, Perú).

Metales	Variables		Correlación	R	p	N	Interpretación
Cr	Agua	Sedimento	Pearson	-0,782	0,003	12	Como $P=0.003 < 0.05$, existe relación significativa entre las variables. Pero esta relación es inversa. A un incremento de Cr en agua disminuye la concentración de Cr en sedimento.
Fe	Agua	Sedimento	Pearson	0,874	0	12	Como $P=0 < 0,05$, existe relación significativa entre las variables. La relación es directa, a mayor concentración de Fe en agua mayor concentración de Fe en sedimento.
Ni	Agua	Sedimento	Spearman	0,109	0,736	12	Como $P=0,736 > 0,05$, no existe relación entre el Ni del agua y el Ni del sedimento.
Cu	Agua	Sedimento	Spearman	-0,639	0,025	12	Como $P=0,025 < 0,05$, existe relación negativa moderada entre las variables. Esto implica que, a medida que el Cu aumenta en agua, el Cu aumenta moderadamente en el sedimento.
Zn	Agua	Sedimento	Pearson	0,148	0,444	12	Como $P=0,148 > 0,05$, no existe relación entre el Zn presente en agua y el Zn presente en sedimento.
As	Agua	Sedimento	Pearson	-	-	12	No se pudo realizar el modelo de regresión entre el As presente en agua y el As presente en sedimento.
Cd	Agua	Sedimento	Spearman	0	0	12	Como $P=0 < 0,05$, existe una relación no consistente entre el Cd presente en agua y el Cd presente en sedimento. Esto implica que la variable no muestra un patrón claro de aumento y disminución.
Pb	Agua	Sedimento	Pearson	-	-	12	No se pudo realizar el modelo de regresión entre el Pb presente en agua y el Pb presente en sedimento.

Fuente: Elaboración propia. r: valor p: significancia N: número de datos

Tabla 15

Resultados de los análisis de correlación de las concentraciones de ocho metales colectados en Agua (ppm) y Sedimento (mg/kg) realizados para el río Tigre (Loreto, Perú).

Metales	Variables		Correlación	r	P	N	Interpretación
Cr	Agua	Sedimento	Pearson	-0,803	0,002	12	Como $P=0,002 < 0,05$, existe relación significativa entre el agua y sedimento. Pero esta relación es inversa. A un incremento de Cr en agua, disminuye el incremento de Cr en sedimento.
Fe	Agua	Sedimento	Pearson	-0,291	0,36	12	Como $P=0,359 > 0,05$, no existe una relación significativa entre el Fe presente en agua y el Fe presente en sedimento.
Ni	Agua	Sedimento	Spearman	-0,036	0,91	12	Como $P=0,913 > 0,05$, no existe una relación entre el Ni presente en agua y el Ni presente en sedimento.
Cu	Agua	Sedimento	Pearson	-0,156	0,63	12	Como $P=0,626 > 0,05$, no existe relación significativa entre el Cu presente en agua y el Cu presente en sedimento.
Zn	Agua	Sedimento	Pearson	-0,314	0,32	12	Como $P=0,320 < 0,05$, no existe una relación significativa entre el Zn presente en agua y el Zn presente en sedimento.
As	Agua	Sedimento	Pearson	-	-	12	No se pudo realizar el modelo de regresión del As presente en agua y el As presente en sedimento.
Cd	Agua	Sedimento	Spearman	0	0	12	Como $P=0 < 0,05$, existe una relación no consistente entre el Cd presente en agua y el Cd presente en sedimento.
Pb	Agua	Sedimento	Spearman	0,109	0,74	12	Como $P=0,736 > 0,05$, no existe una relación entre el Pb presente en agua y el Pb presente en sedimento.

Fuente: Elaboración propia. r: valor p: significancia N: número de datos

Tabla 16

Resultados de los análisis de correlación de las concentraciones de ocho metales colectados en Agua (ppm) y Sedimento (mg/kg) realizados para el río Pastaza (Loreto, Perú).

Metales	Variables		Correlación	R	p	N	Interpretación
Cr	Agua	Sedimento	Pearson	0,434	0,159	12	Como $P=0,159 > 0,05$, no existe relación significativa entre el Cr presente en agua y el Cr presente en sedimento.
Fe	Agua	Sedimento	Pearson	0,152	0,638	12	Como $P=0,638 > 0,05$, no existe relación significativa entre el Fe presente en agua y el Fe presente en sedimento.
Ni	Agua	Sedimento	Pearson	0,174	0,589	12	Como $P=0,589 > 0,05$, no existe relación significativa entre el Ni presente en agua y el Ni presente en sedimento.
Cu	Agua	Sedimento	Pearson	0,215	0,502	12	Como $P=0,502 > 0,05$, no existe relación significativa entre el Cu presente en agua y el Cu presente en sedimento.
Zn	Agua	Sedimento	Pearson	0,633	0,027	12	Como $P=0,027 < 0,05$, existe relación significativa moderada entre las variables. A medida que el Zn aumenta en agua, del mismo modo lo hace el Zn en sedimento.
As	Agua	Sedimento	Pearson	-	-	12	No se pudo realizar el modelo de regresión entre el As presente en el agua y el As presente en sedimento.
Cd	Agua	Sedimento	Pearson	-	-	12	No se pudo realizar el modelo de regresión entre el Cd presente en agua y el Cd presente en sedimento.
Pb	Agua	Sedimento	Pearson	-	-	12	No se pudo realizar el modelo de regresión entre el Pb presente en agua y el Pb presente en sedimento.

Fuente: Elaboración propia. r: valor p: significancia N: número de datos

5. 4. Discusión

De acuerdo a los resultados de concentraciones de metales pesados en las muestras de agua en el río Tigre, Corrientes, y Pastaza encontramos que el Fe es uno de los metales que sobrepasa los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el MINAM y OMS. Para el Fe los resultados obtenidos son similares a los reportados por Belizario Quispe et al. (2019), quienes también encontraron elevadas concentraciones de Fe en agua del río Coata, excediendo los límites permisibles establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental del Ministerio del Ambiente (MINAM), teniendo origen en la descarga incontrolada y sin tratamiento de las aguas residuales y desechos de la ciudad de Juliaca, Puno, Perú. Además, Capparelli et al. (2021) también reportaron concentraciones altas en Fe en las aguas del río Napo, provincia del Napo (Ecuador). Por tanto, Guillen-Rivas et al. (2021) mencionaron que el Fe es uno de los contaminantes de las aguas subterráneas y su exceso pueden considerarse como un problema de salud pública. lo que son consistentes con nuestros hallazgos. Estas similitudes sugieren que los factores influenciadores y los procesos de acumulación de metales pesados podrían ser consistentes a través de diferentes ecosistemas acuáticos.

El Cromo (Cr) es otro de los metales que sobrepasa el LMP del MINAM, pero únicamente en el río Tigre. Igualmente González y Murga (2020) en un estudio sobre presencia de metales en los ríos Tingo, Huallaga y San Juan en la región Pasco, encontraron que los valores altos en Cr proporcionan evidencia sólida de que estos metales tienen un efecto negativo en los organismos que viven allí. Según Kamunde et al. (2004) los altos niveles de Fe y Cr en el agua de los ríos tienen efectos nocivos en muchos organismos acuáticos causados por fenómenos naturales y actividades antropogénicas. Mientras que Quezada Urgiles et al. (2021) señalaron que la contaminación por metales de los ríos es causada por actividades naturales de bioacumulación de minerales y las actividades humanas en la industria, metalurgia, minería y agricultura como

resultado de la exposición crónica, exposición prolongada del organismo a sustancias tóxicas, reflejando su efecto en un problema mundial.

En nuestro estudio encontramos valores de Níquel (0,001 ppm) y Cd (0,005 ppm) y Cd (0,0001 a 0,0003 ppm) en muestras de agua de los ríos Tigre, Pastaza y Corrientes, se encuentran dentro de los estándares establecidos por la OMS. Encontramos resultados similares en un estudio de Franco et al. (2021) en el agua del arroyo San Lorenzo, Departamento Central, Paraguay. De manera similar, Aguirre et al. (2021) obtuvieron resultados similares en muestras de agua de Cd, y Ni en la Ciénaga Grande de Santa (Colombia), pero lograron avances significativos en el abordaje de las alertas ecosistémicas. Nuestros resultados son tranquilizadores debido a que el Níquel debe mantenerse en un nivel bajo porque participa en diversas enzimas y procesos metabólicos de plantas y microorganismos.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la concentración máxima de plomo en el agua es de 0,01 mg/L; en nuestro estudio este metal no supera el límite correspondiente en la mayoría de los puntos de muestreo. En otros estudios, sin embargo, ha habido casos distintos a lo nuestro. Por ejemplo Aveiga Ortiz (2020) encontró concentraciones de 0,40 mg/kg en Pb del río Carrizal (Ecuador) esto se debe a una creciente presión de la actividad agropecuaria en la zona. De igual manera, un estudio realizado por García-Peña et al. (2022) obtuvo altos niveles de plomo ($194,889 \pm 0,3182 \mu\text{g/l}$ y $99,079 \pm 0,0481 \mu\text{g/l}$) en las aguas superficiales del río Tumbes, lo que significa un peligro latente por el alto nivel de toxicidad del metal.

Los resultados obtenidos en el sedimento revelan que el valor obtenido en Zinc (38,40 mg/kg) supera los estándares del NOAA en el río Tigre. Estos resultados son diferentes al estudio de Mora et al. (2016) quienes encontraron en el sedimento del río Puyango (Ecuador) valores de 5.64 mg/kg en Fe y 38.36 mg/kg en Zn.

En el caso del río Corrientes, el Cromo (354,30 mg/kg) y Níquel (21,10 mg/kg) superan los estándares del NOAA y ISQG. En contraste Márquez y Lemus (2020) encontraron concentraciones de metales en sedimentos del tramo medio del río Orinoco que variaron muy poco y sus rangos de concentración estuvieron en: 4,46-17,48 $\mu\text{g/g}$ en Ni; y 1,28-8,76 $\mu\text{g/g}$ en Cr. así mismo, encontró concentraciones de Zinc equivalentes a 42,56-181,45 $\mu\text{g/g}$; diferenciándose de lo encontrado en nuestro estudio en el río Tigre de 38,40 mg/kg superando los estándares del NOAA.

Además, las concentraciones de cromo (19,90 mg/kg) y níquel (95,10 mg/kg) en el río Pastaza excedieron los estándares NOAA e ISQG. Estos datos concuerdan con un estudio de Quispe (2017), quien encontró altas valores de cromo en el sedimento del río Coata que excedían las normas de calidad ambiental. Se señala que la mayor parte de la contaminación se debe principalmente al vertido incontrolado de aguas residuales y desechos sólidos a los ríos.

Las concentraciones encontradas de Pb y As en el sedimento de los ríos estudiados se encuentran dentro las normas establecidas por el NOAA y ISQG, siendo diferentes a otros estudios como el de Franco et al. (2021) y Alviz Gonzales (2021) que reportaron un valor alto en concentraciones de sedimentos de Pb con 16 mg/Kg y de As con 57 mg/kg superando los niveles máximos de la NOAA-SQuiRTs y EPA de los EEUU. Así mismo, un estudio de Tosta Rabello et al. (2018) detectó una concentración promedio de 0,3 mg/kg en Ni en el sedimento del lago Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro (Brasil), resultandos diferentes a

nuestro estudio, ya que obtuvimos 95,1 mg/kg en el río Pastaza, 21,1 mg/kg en el río Corrientes y 10,4 mg/kg en el río Tigre.

Decidimos correlacionar las concentraciones de metales de las muestras de agua y sedimentos para determinar el grado de asociación entre ellas. En esta tesis utilizamos la prueba de normalidad de Shapiro Wilk antes de realizar los análisis de correlaciones y determinar si tenían una distribución normal o no paramétrica. Para el caso paramétrico utilizamos la correlación de Pearson, mientras que, para el caso no paramétrico, utilizamos la correlación de Spearman. Se realizaron un total de 24 correlaciones, 18 correlaciones de Pearson y 6 correlaciones de Spearman. Los resultados fueron una relación significativa de forma directa y alta en el río Corrientes (Fe: 0,7), una relación significativa de manera moderada en el río Pastaza (Zn: 0,6) y una relación significativa inversa en el río Tigre (Cr: -0,8). los resultados son diferentes a otros estudios realizados, como por ejemplo el de García-Peña et al. (2022) quienes encontraron un índice de correlación inversa de baja intensidad para todos los metales pesados analizados con valores de -0,62 (Pb), -0,8 (Cd) y -0,65 (Cr) en el río Tumbes. Del mismo modo, Echeverría Simbaña (2019) empleó la correlación de Pearson para correlacionar el plomo en muestras de agua y sedimento de la reserva Manglares de Cayapas Mataje, Provincia de Esmeralda (Ecuador) obteniendo una relación negativa con un valor de -0,7 y una correlación positiva directa y fuerte en Cadmio con un valor de 0,7. En todos estos estudios, las muestras se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. Además, nuestro estudio reporta una correlación directa del zinc en agua y sedimentos del río Pastaza con una significancia de 0.05 y un valor de coeficiente de correlación convencional de 0.576. Sin embargo, Dueñas Valcárcel (2023) reportó correlación moderada de Zn con un coeficiente de correlación de 0.637 entre agua y sedimento en 6 cuencas hidrográficas del Perú.

6. Conclusiones

En este estudio hemos determinado las concentraciones de metales pesados presentes en agua y sedimentos en tres ecosistemas fluviales del corredor petrolero de la región Loreto.

Estadísticamente el Hierro (Fe) es el metal que presenta altas concentraciones en el agua de los ríos Tigre, Corrientes y Pastaza, sobrepasando los Límites máximos permisibles establecidos por la norma de calidad del MINAM – ECA y OMS.

Los metales con concentraciones que superan las normas internacionales en el sedimento fueron el (Fe), Níquel (Ni), Cromo (Cr) y (Zn), en los ríos Tigre, Corrientes y Pastaza.

Las correlaciones entre las concentraciones de metales presentes en agua y sedimento reportaron una positiva y moderada en Zn (0,6) en muestras del río Pastaza, correlación directa y alta relación en Fe (0,8) en muestras del río Corrientes, así como, una correlación alta e inversa para el Cr (-0,8) en el río Tigre.

Finalmente, los resultados encontrados establecen que, los ecosistemas evaluados se encuentran con ciertos signos de contaminación, que podrían afectar las especies que los habitan, lo que a su vez podría tener implicaciones futuras sobre las actividades económicas y las personas que utilizan los recursos biológicos de estos cuerpos de agua.

7. Recomendaciones

1. Realizar estudios similares en otros ecosistemas acuáticos presentes en el corredor petrolero de la región Loreto, correlacionándolos con los parámetros físico, químicos, biológicos y las actividades humanas.
2. Trabajar de manera coordinada con los entes del Estado para la reducción del riesgo de contaminación en los ecosistemas acuáticos amazónicos.
3. Brindar talleres informativos a los pobladores ribereños asentados en los ríos del corredor petrolero de la región Loreto.
4. El Ministerio del Ambiente del Perú debe incluir una tabla sobre los límites permisibles de metales pesados en sedimentos en la Legislación Ambiental Nacional, para evitar recurrir a normas extranjeras.

8. Referencias bibliográficas

- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., Linero-Cueto, J., Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., y Linero-Cueto, J. (2021). Concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua de la Ciénaga Grande de Santa Marta. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1). <https://doi.org/10.31910/RUDCA.V24.N1.2021.1313>
- Argumedo, C. D. (2021). Bioconcentración de metales pesados (Zn, Hg, Pb) en tejidos de *Ariopsis felis* y *Diplodus annularis* en el río Ranchería, Norte de Colombia. *Revista de La Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 68(2).
<https://doi.org/10.15446/rfmvz.v68n2.98025>
- Alviz Gonzales, C. D., y Alvarez Gonzales, L. F. (2021). Análisis comparativo en los niveles de concentración de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn y Pb) en sedimentos, entre la zona alta y zona baja del río Locumba, región Tacna. Escuela Profesional de de Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Moquegua.
- Aveiga Ortiz, A. M. (2020). Determinación de la bioacumulación de metales pesados en los órganos de los peces en río principal de la subcuenca del carrizal. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Belizario Quispe, G., Capacoila Coila, J., Ramos, H., Cornejo Olarte, D. A., Heber; y Chui Betancur, N. (2019). Determinación del contenido de Fósforo y Arsénico, y de otros metales contaminantes de las aguas superficiales del río Croata, afluente del lago Titicaca, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 36(5), 223–228.
<https://doi.org/10.34098/2078-3949.36.5.4>

- Capparelli, M. V., Cabrera, M., Moulatlet, G. M., Pinos Vélez, V., Pérez González, A., Solis, O. L., Galarza, E., Alvear, D., Vasco, S., Guamangallo, J., Cevallos, M., Shiguango, Lady, & Ramos, M. (2021). Evaluación del grado de afectación de la actividad minera sobre los ecosistemas acuáticos en la provincia del Napo. *Dados*, 17 (20), 50.
- Chota Macuyama, W., Chu-Koo, F. W., García-Dávila, C. R., Castro-Ruiz, D., Ismiño-Orbe, R. R., García-Vásquez, A. R., Sánchez-Ribeiro, H., Arévalo, I., y Tello-Martín, J. S. (2014). calidad ambiental de los ríos curaray, arabela y napo (Loreto, Perú). *Folia Amazónica*, 23(2), 157–170. <https://doi.org/10.24841/FA.V23I2.21>
- Condori Apaza, R., Alviz Gonzales, L., y Mendez Ancca, S. (2023). Niveles de concentración de metales pesados en sedimentos de zona alta del río Locumba, Perú. *Dialnet.Unirioja.Es*, 18(2), 103–115. <https://doi.org/10.22507/pml.v18n2a6>
- Echeverría Simbaña, K. M. (2019). Metales pesados en agua, sedimentos y raíces de *Rhizophora mangle* de la reserva ecológica manglares Cayapas Mataje, provincia de Esmeraldas, Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra.
- Franco, N.S., Benitez, J. y López, T. (2021.). Metales pesados contenidos en los sedimentos de fondo y en la columna de agua del arroyo San Lorenzo, Departamento Central, Paraguay. *Revista de La Sociedad Científica*, 26 (1), 100-114. <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.1.100>
- García, P.E.P., y Cruz, M.I.A. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199–205.
- García-Peña, A.; Rimaycuna, J.; Herrera, E.; Bermejo, L.; y Cruz, G. (2022). Correlación entre la concentración de metales pesados en el agua de consumo y la concentración de los mismos del agua superficial del río Tumbes, Perú. *Revista de Investigación*

Científica Manglar, 19(2), 137–142.

<https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/315>

Gil-Mora, J. E., Boza, Á. H. F., Ramos, K. J. O., y Oviedo, N. A. V. (2022). Determinación de la pérdida de la calidad de un río urbano en Cusco: Caso Saphy. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 3722–3748.

https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V6I1.1765

González, O.; y Murga, L. (2020). Evaluación de metales pesados en ríos y truchas *Oncorhynchus mykiss* de la región Pasco, Perú. *Revista Iberoamericana Ambiente y Sustentabilidad*, 3(2), 32–48. <https://doi.org/10.46380/rias.v3i2.93>

Guillen-Rivas, R.; Jaramillo-Cedeño, R.; Baquerizo-Crespo, J.; y Córdova-Mosquera, A. (2021). Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas subterráneas: una revisión. *Revista Científico-Profesional. dialnet.Unirioja.Es*, 6(9), 1384–1407. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i9.3118>

Sánchez-Araujo, V.G.; Chávez-Araujo, R.; y Alvarez-Ticllasuca, A. I. (2021). Presencia de metales pesados del río Ichu en zonas adyacentes al distrito de Huancavelica, Perú. *Polo Del Conocimiento*, 6(5), 3–13. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i5.2627>

Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Sánchez, T., y Arnaldoa, L. T. (2021). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense* Kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales antoandinos del Perú. *Arnaldoa*, 24 (2), 583-598.

<http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.242.24210>

Kamunde, C.N. y Wood, C.M. (2004). Química ambiental, homeostasis fisiológica, toxicología y regulación ambiental del cobre, un elemento esencial en los peces de agua dulce. *Australasian Journal of Ecotoxicology* 10 (1), 1–20.

- López, K., Sihuay-Perales, M., Garate-Quispe, J., Araújo-Flores, J., Herrera-Machaca, M., Alarcón Aguirre, G., y Rodríguez-Achata, L. (2021). Contaminación de agua superficial de la periferia urbana de Puerto Maldonado, al sureste de la amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 32(6), 20365.
<https://doi.org/10.15381/RIVEP.V32I6.20365>
- Luo, P., Xu, C., Kang, S., Huo, A., Lyu, J., Zhou, M., & Nover, D. (2021). Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China: assessment and source analysis. *Water Science and Technology*, 84(10–11), 3072–3090.
<https://doi.org/10.2166/WST.2021.335>
- Márquez, A. y Lemus, A. (2020). Riesgos ambientales por metales pesados en los sedimentos del río Orinoco. *Douglas Rodríguez Olarte*, 3, 57.
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., y Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 35(1), 93–102. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604>
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez-Prado, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larreta, E., Egas, y Egas, F. (2019). Concentración de cadmio en agua, sedimentos, *Eichhornia crassipes* y *Pomacea canaliculata* en el río guayas (ecuador) y sus afluentes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3), 623–640.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.09>
- Minam. (2021). *Límite Máximo Permisible (LMP)*. <https://infoaireperu.minam.gob.pe/limite-maximo-permisible-lmp/>
- Mora, A., Bermeo-Flores, S.A.; González-Merizalde, M. y Jumbo-Flores, D. (2016). Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Puyango, Ecuador. *Revista*

Internacional de Contaminación Ambiental, 32(4), 385-397.

<https://doi.org/10.20937/rica.2016.32.04.02>

Moya Cerezo, M. (2023). Concentración de metales pesados en agua y sedimentos de la desembocadura de los ríos Atrato y León, Golfo de Urabá.

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/37358>

Organización Mundial de la Salud. (2017). El Mercurio y La Salud. <https://www.who.int/es>

Pezo, R., Paredes, H. y Bedayán, N. Y. (1992). Determinación de metales pesados

bioacumulables en especies ícticas de consumo humano en la amazonia peruana. *Folia Amazónica*, 4(2), 171–181. <https://doi.org/10.24841/FA.V4I2.295>

Quezada Urgiles, J. E. y Dávila, K.E; (2021). Presencia de metales pesados en agua de ríos y las afectaciones clínicas producidas en el ser humano (exámen complejo). UTMACH, Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud, Machala, Ecuador.

Rengifo, D., Reyes, W. (2016). Amazonía peruana en riesgo por presencia de mercurio en el río Napo. *Revista Ciencia y Tecnología* 12, 41–50. <https://revistas.unitru.edu.pe>

Sotero, D. G., y Alva-Astudillo, M. (2013). Contenido de metales pesados en pescados comercializados en Iquitos, Nauta y Requena. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 3(1), 33–42. <https://doi.org/10.22386/CA.V3I1.50>

Tosta Rabello, M. V., Gonçalves Cesar, R., Castilhos, Z., Rodrigues, A. P., Pereira de Campos, T. M., Cesar Wasserman, J., & Polivanov, H. (2018). Risco Ecológico Potencial por Metais Pesados em Sedimentos da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro (RJ). *Anuario do Instituto de Geociencias*, 41(3), 363-374. Doi: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_363_374

Tuñon, O., Chang, J., Carneiro, D., Leone, O., Goti, I. y Gómez, J. (2022). Impacto del cobre (Cu) y cadmio (Cd) en sedimento del estero Farfán, Golfo de Montijo, Panamá.

Tecnociencia, 24(1), 22-44.

WCS PERÚ. (2010). *Aguas Amazónicas*. <https://peru.wcs.org/es-es>

9. Anexos.

Cuadro 1. Concentración de metales pesados (ppm) encontrados en agua.

	Sample Id	Cr 52 (ppm)	Fe 57 (ppm)	Ni 60 (ppm)	Cu 63 (ppm)	Zn 66 (ppm)	As 75 (ppm)	Cd 111 (ppm)	Pb 208 (ppm)
1	C1a	0,01570	0,62314	0,00111	0,00266	0,02068	0,00025	0,00008	0,00161
2	C2a	0,01414	0,60252	0,00132	0,00411	0,02844	0,00022	0,00005	0,00183
3	C3a	0,01394	0,57609	0,00057	0,00142	0,01178	0,00015	0,00003	0,00102
4	C4a	0,01283	0,74960	0,00078	0,00146	0,01046	0,00022	0,00002	0,00102
5	C5a	0,01430	0,72218	0,00097	0,00213	0,01417	0,00016	0,00003	0,00118
6	C6a	0,01130	0,83515	0,00077	0,00164	0,01581	0,00021	0,00003	0,00096
7	C1b	0,01812	0,55885	0,00063	0,00207	0,01846	0,00017	0,00005	0,00124
8	C2b	0,01072	0,65411	0,00062	0,00205	0,01352	0,00019	0,00003	0,00096
9	C3b	0,01235	0,52008	0,00060	0,00200	0,01520	0,00017	0,00003	0,00113
10	C4b	0,01223	0,74637	0,00067	0,00155	0,01632	0,00020	0,00004	0,00094
11	C5b	0,01109	0,76130	0,00062	0,00148	0,01580	0,00022	0,00004	0,00080
12	C6b	0,00643	0,83488	0,00069	0,00168	0,01133	0,00023	0,00003	0,00075
13	T1a	0,01805	0,94073	0,00155	0,00472	0,03993	0,00035	0,00016	0,00126
14	T2a	0,01908	0,92423	0,00105	0,00400	0,01920	0,00019	0,00008	0,00194
15	T3a	0,01769	0,86654	0,00104	0,00319	0,01308	0,00025	0,00009	0,00146
16	T4a	0,01570	0,97320	0,00113	0,00373	0,01521	0,00032	0,00010	0,00141
17	T5a	0,01219	0,78070	0,00093	0,00233	0,01646	0,00025	0,00006	0,00098
18	T6a	0,01256	0,84446	0,00114	0,00236	0,00977	0,00025	0,00006	0,00111
19	T1b	0,01397	1,20640	0,00104	0,00359	0,01672	0,00044	0,00009	0,00091
20	T2b	0,01987	0,88128	0,00105	0,00357	0,01494	0,00022	0,00009	0,00194
21	T3b	0,01713	0,92835	0,00117	0,00301	0,01255	0,00031	0,00010	0,00134
22	T4b	0,01528	0,83819	0,00109	0,00349	0,00919	0,00026	0,00010	0,00132
23	T5b	0,01373	0,92031	0,00206	0,00299	0,01325	0,00031	0,00010	0,00134
24	T6b	0,00717	0,75989	0,00106	0,00304	0,01552	0,00023	0,00006	0,00107
25	P1a	0,01306	1,23674	0,00253	0,01047	0,01679	0,00091	0,00012	0,00076
26	P2a	0,01008	1,38340	0,00354	0,01210	0,00761	0,00081	0,00013	0,00065
27	P3a	0,01034	1,02922	0,00184	0,00792	0,00638	0,00080	0,00007	0,00066
28	P4a	0,01630	1,01637	0,00514	0,01000	0,01047	0,00069	0,00008	0,00098
29	P5a	0,01434	1,49402	0,00312	0,01214	0,00923	0,00081	0,00014	0,00070
30	P6a	0,01125	0,96672	0,00145	0,00711	0,00619	0,00064	0,00007	0,00048
31	P1b	0,01361	1,68476	0,00404	0,01201	0,01777	0,00092	0,00019	0,00076
32	P2b	0,01128	1,12128	0,00263	0,01081	0,01408	0,00084	0,00014	0,00086
33	P3b	0,01126	0,99341	0,00196	0,00850	0,01222	0,00075	0,00015	0,00073
34	P4b	0,01120	0,92867	0,00172	0,00742	0,00901	0,00065	0,00009	0,00053
35	P5b	0,01105	1,36167	0,00244	0,00833	0,00834	0,00076	0,00008	0,00055
36	P6b	0,01030	1,09361	0,00147	0,00693	0,00712	0,00072	0,00010	0,00054

Descripción: C: Rio Corrientes T: Rio Tigre P: Rio Pastaza

Cuadro 2. Concentración de metales pesados (mg/kg) encontrados en sedimento del Rio Tigre.

METALES	Unidad	T1-A	T1-B	T2-A	T2-B	T3-A	T3-B	T4-A	T4-B	T5-A	T5-B	T6-A	T6-B
Mercurio Total	mg/kg	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	<0.01	0,03
Plata	mg/kg	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9
Aluminio	mg/kg	1599,00	3662,00	1247,00	1405,00	772,80	947,90	626,60	7447,00	2488,00	1896,00	3619,00	4575,00
Arsénico	mg/kg	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6
Boro	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	11,10	<4	<4	<4	<4
Bario	mg/kg	17,70	37,30	14,10	17,10	8,60	10,40	9,00	71,80	27,90	20,20	40,10	47,40
Berilio	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bismuto	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Calcio	mg/kg	172,40	584,20	126,30	194,60	63,90	88,10	97,00	1057,00	703,20	511,30	1229,00	899,60
Cadmio	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Cobalto	mg/kg	<1	3,10	<1	<1	<1	<1	<1	7,30	3,90	<1	6,70	4,40
Cromo	mg/kg	3,50	8,80	<1	4,40	1,90	3,30	3,30	13,60	6,30	10,90	10,80	16,00
Cobre	mg/kg	<0.8	3,20	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	8,40	2,20	<0.8	2,80	4,60
Hierro	mg/kg	3533,00	6932,00	3048,00	3459,00	2066,00	2211,00	1911,00	12585,00	6546,00	6138,00	9799,00	9830,00
Potasio	mg/kg	74,20	146,20	48,10	48,10	20,60	32,50	6,30	203,10	102,20	54,00	87,50	168,20
Litio	mg/kg	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5
Magnesio	mg/kg	286,10	606,30	203,70	234,60	115,00	154,70	149,20	919,30	1086,00	1124,00	1091,00	1450,00
Manganeso	mg/kg	149,50	170,50	133,00	135,50	91,90	82,60	71,90	342,30	166,90	101,50	239,80	208,10
Molibdeno	mg/kg	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6
Sodio	mg/kg	15,70	32,10	<12	<12	<12	<12	<12	67,20	117,90	68,30	204,10	118,40
Níquel	mg/kg	<1	3,60	<1	<1	<1	<1	<1	6,80	7,20	5,80	10,40	8,20
Fósforo	mg/kg	49,60	92,40	43,30	51,10	32,60	37,80	39,10	183,70	146,20	102,00	275,10	157,00
Plomo	mg/kg	<3.0	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Antimonio	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Selenio	mg/kg	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2
Estaño	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Estroncio	mg/kg	2,40	7,80	1,90	2,30	<0.7	2,00	<0.7	14,50	9,00	6,40	14,40	13,60
Titanio	mg/kg	103,00	115,20	75,60	190,10	47,90	64,70	185,70	126,00	314,40	422,50	575,30	420,80
Talio	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Vanadio	mg/kg	6,00	12,40	5,60	7,60	3,30	4,30	5,70	22,90	18,80	21,80	32,30	29,00
Zinc	mg/kg	12,00	21,00	9,90	11,10	6,50	7,30	5,40	38,40	19,40	14,50	31,10	26,10

Descripción: T1 - A y B: Punto de muestreo Paicheplaya.

T2 - A y B: Punto de muestreo Elam.

T3 - A y B: Punto de muestreo 3.

T4 - A y B: Punto de muestreo Intuto.

T5 - A y B: Punto de muestreo Libertad.

T6 - A y B: Punto de muestreo Piura.

Cuadro 3. Concentración de metales pesados (mg/kg) encontrados en sedimento del Rio Corrientes.

METALES	Unidad	C1-A	C1-B	C2-A	C2-B	C3-A	C3-B	C4-A	C4-B	C5-A	C5-B	C6-A	C6-B
Mercurio Total	mg/kg	<0.01	0,03	<0.01	0,01	<0.01	0,02	0,03	0,02	0,01	<0.01	0,01	0,01
Plata	mg/kg	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9	<0.9
Aluminio	mg/kg	941,40	1529,00	1473,00	3020,00	1803,00	1725,00	5975,00	7365,00	3090,00	3059,00	3213,00	2663,00
Arsénico	mg/kg	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6	<3.6
Boro	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	10,40	10,60	<4	<4	<4	12,10
Bario	mg/kg	16,90	35,90	27,90	31,10	29,50	21,00	55,90	61,70	36,50	35,30	42,80	36,30
Berilio	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Bismuto	mg/kg	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Calcio	mg/kg	137,00	233,00	290,30	410,60	334,50	215,80	1095,00	1260,00	771,80	704,30	1111,00	995,00
Cadmio	mg/kg	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Cobalto	mg/kg	<1	3,70	3,80	<1	3,60	<1	6,50	7,10	4,60	3,90	6,60	9,00
Cromo	mg/kg	<1	3,20	4,10	6,40	4,50	6,30	14,80	18,20	12,50	12,00	10,10	35,30
Cobre	mg/kg	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	6,80	8,70	<0.8	2,70	2,60	2,10
Hierro	mg/kg	2366,00	3999,00	4117,00	5054,00	3859,00	3445,00	11605,00	12151,00	7489,00	6716,00	10745,00	14376,00
Potasio	mg/kg	64,10	57,00	63,50	120,80	81,20	63,60	188,30	215,50	110,60	123,30	111,10	87,90
Litio	mg/kg	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5	<3.5
Magnesio	mg/kg	141,00	231,90	268,80	367,20	484,50	257,70	1638,00	2187,00	1202,00	1182,00	1412,00	3056,00
Manganeso	mg/kg	157,10	339,10	262,00	130,10	221,20	63,60	239,00	192,10	149,10	132,40	184,60	205,70
Molibdeno	mg/kg	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6	<0.6
Sodio	mg/kg	16,60	34,20	31,70	28,50	35,60	18,20	174,20	164,00	119,70	117,40	185,40	148,70
Níquel	mg/kg	<1	<1	<1	<1	3,10	<1	10,40	13,70	7,40	7,00	11,30	21,10
Fósforo	mg/kg	38,80	58,60	70,80	65,80	87,40	58,20	265,40	277,80	154,50	130,10	286,10	241,60
Plomo	mg/kg	<3.0	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3
Antimonio	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Selenio	mg/kg	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2	<2.2
Estaño	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Estroncio	mg/kg	2,60	5,20	3,90	8,80	5,00	4,70	16,70	19,60	11,10	10,80	13,40	11,80
Titanio	mg/kg	111,80	85,90	109,50	159,70	184,70	301,10	464,80	404,50	490,90	434,40	534,80	1224,00
Talio	mg/kg	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4	<4
Vanadio	mg/kg	4,00	6,40	8,00	10,40	8,70	9,90	34,10	37,60	23,80	21,30	31,90	66,90
Zinc	mg/kg	8,90	13,80	13,40	16,50	15,50	11,20	31,80	37,60	21,60	19,30	30,40	29,40

Descripción: C1 - A y B: Punto de muestreo Nueva Valencia.

C2 - A y B: Punto de muestreo Nueva Esperanza.

C3 - A y B: Punto de muestreo Pucacuro.

C4 - A y B: Punto de muestreo Trompeteros.

C5 - A y B: Punto de muestreo Nuevo san Martin.

C6 - A y B: Punto de muestreo Providencia.

Cuadro 4. Concentración de metales pesados (mg/kg) encontrados en sedimento del Río Pastaza.

METALES	Unidad	P1-A	P1-B	P2-A	P2-B	P3-A	P3-B	P4-A	P4-B	P5-A	P5-B	P6-A	P6-B
Mercurio Total	mg/kg	< 0.01	0,01	0,04	< 0.01	< 0.01	0,01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0,01	< 0.01	0,01
Plata	mg/kg	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9	< 0.9
Aluminio	mg/kg	5147,0	8674,0	4754,0	3404,0	4535,0	6742,0	5259,0	5827,0	4741,0	7900,0	5577,0	6019,0
Arsénico	mg/kg	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6	< 3.6
Boro	mg/kg	11,3	13,4	9,9	15,0	10,8	12,6	12,8	10,2	13,3	10,6	11,6	11,0
Bario	mg/kg	29,9	46	31,7	19,4	33,2	33,7	33,2	41,2	27,5	47,7	37,1	39
Berilio	mg/kg	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0	< 1.0
Bismuto	mg/kg	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0	< 2.0
Calcio	mg/kg	2540,0	3157,0	2513,0	1974,0	2384,0	3106,0	2421,0	2603,0	2370,0	2687,0	2733,0	2608,0
Cadmio	mg/kg	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 0.3
Cobalto	mg/kg	12,8	11,6	10,4	19,9	12,3	11,8	15	10,9	16	10	12,6	12,0
Cromo	mg/kg	15,6	23,2	13,3	21,9	15,3	24	18,9	12,5	20,6	14,6	16,4	14,9
Cobre	mg/kg	6,9	18	5,8	12,5	5,8	15,1	7,5	7,7	7	10,8	6,9	7,7
Hierro	mg/kg	14688	17155	12993	19773	14236	16256	17038	13533	17536	13749	15126	14433
Potasio	mg/kg	263,3	656,7	224,4	179,2	219,1	463,7	302	266,1	234,9	494,7	258,5	299,1
Litio	mg/kg	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5	< 3.5
Magnesio	mg/kg	10824	7993	8103	20303	9947	8625	12714	7633	14501	7047	9682	9037
Manganeso	mg/kg	268,7	269,1	238,6	364,3	289,2	253,6	319	302	323,7	246,8	312,2	289,9
Molibdeno	mg/kg	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 0.6
Sodio	mg/kg	426,7	469,8	422,2	306,1	404,8	430,3	412,4	468,4	407	461,3	493,3	470,6
Níquel	mg/kg	50,6	30,6	40,6	95,1	48,4	34	57,1	33,6	64,3	27,5	44,1	39,3
Fósforo	mg/kg	377,9	521,9	402,6	353,8	392,2	570,8	382,3	387	371	371,9	419,8	373,3
Plomo	mg/kg	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0	< 3.0
Antimonio	mg/kg	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0
Selenio	mg/kg	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2	< 2.2
Estaño	mg/kg	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0
Estroncio	mg/kg	31,7	39,4	31	23,1	28,9	37,4	30,8	34,6	30,3	36,9	35,8	35,5
Titanio	mg/kg	575,1	761,5	560,7	555,4	592,6	749	634,8	598,8	641,3	589,7	635,8	598,7
Talio	mg/kg	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0	< 4.0
Vanadio	mg/kg	39	52,3	37,9	39,7	39,7	52,1	43,8	38,4	44,7	37,8	43,5	39,3
Zinc	mg/kg	29,7	39,5	25	36,7	27,4	34,9	34,1	28,3	34,4	32,9	30	30,4

Descripción: M1 - A y B: Punto de muestreo Nuevo Soplín.

M2 - A y B: Punto de muestreo Loboyacu.

M3 - A y B: Punto de muestreo Sungache.

M4 - A y B: Punto de muestreo San Fernando.

M5 - A y B: Punto de muestreo Musacarusha.

M6 - A y B: Punto de muestreo Nueva Alianza.

Tabla 17. Promedio de parámetros encontrados en el río Pastaza.

Promedio final	
Parámetros	Río Pastaza
Temperatura	26,5
pH	6,29
Conductividad eléctrica (ms)	0,017
Transparencia (cm)	15,5
Coordenada 18M	335598,17
Coordenada UTM	9552941,33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Promedio de parámetros encontrados en el río Corrientes.

Promedio final	
Parámetros	Río Corrientes
Temperatura	26,12
pH	6,26
Transparencia (cm)	525800,00
Coordenada 18M	9580779,00
Coordenada UTM	9610122,83

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Promedio de parámetros encontrados en el río Tigre.

Promedio final	
Parámetros	Río Tigre
Temperatura	26,46
pH	6,09
Transparencia (cm)	25,75
Coordenada 18M	520969,60
Coordenada UTM	9609721,20

Fuente: Elaboración propia.

Figura 6. Registrando las tomas de muestras.



Figura 7. Conteo de las muestras selladas en los envases plásticos.

