



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES  
PESADOS MEDIANTE UN ANÁLISIS COMPARATIVO  
MULTINDEX EN SEDIMENTOS: CASO DE ESTUDIO ESTUARIO  
LA PUNTILLA, CANTÓN EL GUABO, PROVINCIA DEL ORO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: PABLO JAVIER ALDAS VALENCIA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES  
PESADOS MEDIANTE UN ANÁLISIS COMPARATIVO  
MULTINDEX EN SEDIMENTOS: CASO DE ESTUDIO ESTUARIO  
LA PUNTILLA, CANTÓN EL GUABO, PROVINCIA DEL ORO**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: PABLO JAVIER ALDAS VALENCIA**

**DIRECTORA: Ing. MARÍA FERNANDA RIVERA VELÁSQUEZ PhD.**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Pablo Javier Aldas Valencia

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

Yo, Pablo Javier Aldas Valencia, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de marzo de 2023

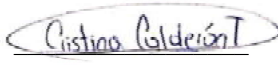
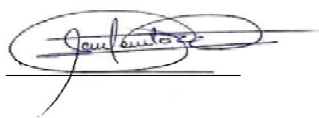



**Pablo Javier Aldas Valencia**

**1805013354001**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS MEDIANTE UN ANÁLISIS COMPARATIVO MULTINDEX EN SEDIMENTOS: CASO DE ESTUDIO ESTUARIO LA PUNTILLA, CANTÓN EL GUABO, PROVINCIA DEL ORO**, realizado por el señor: **PABLO JAVIER ALDAS VALENCIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Cristina Calderón MSc. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-03-24
Ing. María Fernanda Rivera Velásquez PhD. <b>DIRECTORA DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-03-24
Ing. Andrés Agustín Beltrán Dávalos MSc. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-03-24

## **DEDICATORIA**

Al finalizar esta etapa crucial en mi vida, deseo expresar mi profundo agradecimiento y dedicar este trabajo en primer lugar a mi Señor Jesús, quien ha sido mi guía constante, fuente de sabiduría y protector incansable en cada momento y lugar. A mi amada familia, Marco, Elvia y Paula, les debo un agradecimiento inmenso, ya que han sido los maestros que me han enseñado el verdadero significado de la vida. Su amor, paciencia y apoyo inmenso han sido compañeros fieles en este camino, alentándome siempre a alcanzar mis metas. A Katty, quien ha sido mi mayor motivación e inspiración para crecer en todas las áreas de mi vida, quiero expresar mi más profundo agradecimiento por su cálida compañía y apoyo incondicional. También quiero reconocer a toda mi familia, especialmente a mi abuelito Oswaldo y mi tío Alcides, por su valiosa ayuda en la consecución de este objetivo. Por último, quiero expresar mi gratitud a todas las autoridades, docentes y técnicos de laboratorio e investigación, quienes han sido mis guías académicas y han brindado su orientación a lo largo de este camino.

Pablo

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme acogido en su institución y proporcionarme el entorno propicio para llevar a cabo esta investigación. Agradezco especialmente a la Dra. María Fernanda Rivera, mi directora de tesis, cuyo profesionalismo y carisma han sido fundamentales para culminar este trabajo de investigación. También quiero reconocer al Ing. Andrés Beltrán, quien ha sido mi mentor y guía tanto en mi formación profesional como en mi papel como líder estudiantil. Sus conocimientos, experiencias y valiosos consejos han sido de gran ayuda y seguirán siéndolo en el futuro. Agradezco al Quím. Jefferson Bautista por su amistad y guía profesional en el desarrollo práctico de mi trabajo de titulación. Por último, quiero agradecer al Dr. Mauricio Álvarez por su oportuna y sólida experiencia en su campo, lo cual ha permitido llevar a cabo esta investigación. Mi agradecimiento también se extiende a todos mis compañeros y amigos que han contribuido en la realización de este trabajo investigativo.

Pablo

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

## CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	6
1.1. Antecedentes de la investigación.....	6
1.2. Bases teóricas.....	7
1.2.1. <i>Ecosistemas de manglar</i> .....	7
1.2.2. <i>Funciones ecosistémicas de los manglares</i> .....	7
1.2.3. <i>Manglares en Ecuador</i> .....	8
1.2.4. <i>Contaminación en zonas de mangle</i> .....	8
1.2.4.1. <i>Contaminación por metales pesados</i> .....	8
1.2.4.2. <i>Sedimentos contaminados con metales pesados</i> .....	9
1.2.5. <i>Carbono orgánico en manglares</i> .....	9
1.2.5.1. <i>Carbono orgánico en sedimentos de manglares</i> .....	11
1.2.6. <i>Nitrógeno en los sedimentos de mangle</i> .....	12
1.2.7. <i>Geo-disponibilidad de metales pesados</i> .....	13
1.2.8. <i>Procedimiento para la toma de muestras de sedimentos</i> .....	13
1.2.8.1. <i>Equipos</i> .....	14
1.2.8.2. <i>Procedimiento para la extracción de muestras</i> .....	14
1.2.8.3. <i>Conservación y transporte de muestras</i> .....	14
1.2.9. <i>Tratamiento de las muestras</i> .....	15
1.2.9.1. <i>Secado de muestras</i> .....	15
1.2.9.2. <i>Trituración de las muestras</i> .....	15
1.2.9.3. <i>Tamizado de muestras</i> .....	16
1.2.10. <i>Caracterización fisicoquímica de las muestras de mangle</i> .....	16
1.2.11. <i>Segmentación de muestras</i> .....	18



1.2.12.	<i>Factor de enriquecimiento (FE)</i> .....	19
1.2.13.	<i>Índice de geo-acumulación</i> .....	20
1.2.14.	<i>Índice de riesgo ecológico (IR)</i> .....	21
1.2.15.	<i>Valores de fondo de los informes de Turekian &amp; Wedepohl</i> .....	22
1.3.	<b>Bases conceptuales</b> .....	22
1.3.1.	<i>Riesgo ecológico</i> .....	22
1.3.2.	<i>Manglar</i> .....	23
1.3.3.	<i>Estuario</i> .....	23
1.3.4.	<i>Metales pesados</i> .....	23
1.3.5.	<i>Análisis comparativo</i> .....	23
1.3.6.	<i>Sedimento</i> .....	24
1.3.7.	<i>Mercurio (Hg)</i> .....	24
1.3.8.	<i>Arsénico (As)</i> .....	24
1.3.9.	<i>Plomo (Pb)</i> .....	24
1.3.10.	<i>Hierro (Fe)</i> .....	25
1.3.11.	<i>Cadmio (Cd)</i> .....	25

## CAPÍTULO II

2.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	26
2.1.	<b>Identificación del área de estudio</b> .....	26
2.2.	<b>Ubicación de la investigación</b> .....	27
2.2.1.	<i>Determinación de los puntos de muestreo</i> .....	28
2.3.	<b>Esquema metodológico</b> .....	29
2.3.1.	<i>Parámetros fisicoquímicos de los sedimentos</i> .....	29
2.3.1.1.	<i>Recolección, transporte y pretratamiento de muestras</i> .....	29
2.3.2.	<i>Caracterización de sedimentos</i> .....	30
2.3.2.1.	<i>Caracterización fisicoquímica de sedimentos</i> .....	30
2.3.2.2.	<i>Determinación de metales pesados en las muestras de sedimento</i> .....	30
2.3.2.3.	<i>Textura</i> .....	31
2.3.3.	<i>Cálculo de los índices de contaminación: Factor de enriquecimiento, Índice de Geo acumulación e índice de carga contaminante.</i> .....	31
2.3.4.	<i>Valores utilizados para cálculo del índice de riesgo ecológico (IR)</i> .....	32

## CAPÍTULO III

<b>3.</b>	<b>MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
<b>3.1.</b>	<b>Caracterización de parámetros fisicoquímicos de sedimentos en el estuario la Puntilla .....</b>	<b>34</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Metodologías para la determinación de parámetros fisicoquímicos.....	17
<b>Tabla 2-1:</b> Clases de factores de enriquecimiento de un metal pesado .....	20
<b>Tabla 3-1:</b> Clases de índices de geo acumulación con diferentes valores de intervalo.....	20
<b>Tabla 4-1:</b> Nivel de riesgo ecológico .....	22
<b>Tabla 5-1:</b> Concentraciones teóricas de fondo para la evaluación de los índices .....	22
<b>Tabla 1-2:</b> Valores utilizados para los índices .....	31
<b>Tabla 2-2:</b> Valores de entrada para el factor de respuesta tóxico.....	33
<b>Tabla 1-3:</b> Valores de los parámetros fisicoquímicos de sedimento .....	35
<b>Tabla 2-3:</b> Determinación de Ct y Nt por zonas .....	35

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-1:</b> Almacenamiento y flujos de carbono en manglares .....	11
<b>Ilustración 2-1:</b> Estructuración del ciclo del nitrógeno .....	12
<b>Ilustración 3-1:</b> Secado de muestras de profundidad.....	15
<b>Ilustración 4-1:</b> Secado de muestra de mangle .....	15
<b>Ilustración 5-1:</b> Trituración de la muestra .....	16
<b>Ilustración 6-1:</b> Tamizado de muestras .....	16
<b>Ilustración 7-1:</b> Segmentación de la muestra .....	19
<b>Ilustración 1-2:</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio y los ríos Siete y Chaguana. ....	26
<b>Ilustración 2-2:</b> Localización de los puntos de muestreo en la zona de estudio. ....	28
<b>Ilustración 1-3:</b> Análisis de correlación de los parámetros físico – químico en sedimentos. ....	36
<b>Ilustración 2-3:</b> Concentración de Arsénico (As) y mercurio (Hg) en función de la profundidad .....	37
<b>Ilustración 3-3:</b> Fotografías de los Ríos: a) Chaguana y b) Rio Siete .....	41
<b>Ilustración 4-3:</b> Índice de factor de enriquecimiento para Hg.....	42
<b>Ilustración 5-3:</b> Índice de factor de enriquecimiento para el As.....	43
<b>Ilustración 6-3:</b> Índice de geo acumulación para el Hg.....	43
<b>Ilustración 7-3:</b> Índice de geo acumulación para el As .....	44
<b>Ilustración 8-3:</b> Índice de riesgo ecológico potencial para el Hg .....	45
<b>Ilustración 9-3:</b> Índice de riesgo ecológico potencial para el As.....	46
<b>Ilustración 10-3:</b> Índice de riesgo ecológico par el As.....	47
<b>Ilustración 11-3:</b> Índice de riesgo ecológico par el Hg.....	48

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** PROCESAMIENTO DE MUESTRAS (MÉTODO LOI)

**ANEXO B:** MÉTODO DE BOUYOCUS

**ANEXO C:** PROCESAMIENTO DE SUELO PARA ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN

**ANEXO D:** DIGESTIÓN Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

**ANEXO E:** DILUCIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE METALES PESADOS

**ANEXO F:** TRITURACIÓN Y TAMIZAJE DE MUESTRAS

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>I-geo</b>	Índice de Geo acumulación
<b>FE</b>	Factor de enriquecimiento
<b>RI</b>	Riesgo ecológico
<b>mg</b>	Miligramos
<b>Kg</b>	Kilogramos

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la contaminación por metales pesados en sedimentos mediante un análisis comparativo Multindex en el estuario "La puntilla", ubicado en el cantón El Guabo, Provincia del Oro, al sur de la República del Ecuador. Se recolectaron 25 muestras de sedimentos en 11 puntos de muestreo utilizando una embarcación pesquera, tubos de PVC y un barreno de un solo cuerpo. Mediante la técnica de Espectroscopia de Absorción Atómica, se determinaron las concentraciones de Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Arsénico (As), Mercurio (Hg) y Hierro (Fe). Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre los parámetros físico-químicos del sedimento y los metales pesados, así como una evaluación de Factor de Enriquecimiento, Índice de Geo acumulación e Índice de Riesgo Ecológico. Los resultados mostraron una contaminación significativa de Arsénico y Mercurio en los sedimentos de manglar, con una fuente antropogénica predominante en los puntos P6 y P7 de la Zona 2. Los índices de Riesgo Ecológico indicaron un nivel de riesgo moderado en dicha zona. Se recomienda realizar estudios durante la temporada de lluvias para comparar las concentraciones de metales en las mismas profundidades, brindando información adicional sobre la contaminación. Este trabajo proporciona una visión integral de la contaminación por metales pesados en los sedimentos de manglar, permitiendo identificar áreas de mayor riesgo y orientar futuras acciones de gestión ambiental.

**Palabras clave:** <CONTAMINACIÓN>, <METALES PESADOS>, <SEDIMENTOS>, <ANÁLISIS COMPARATIVO>, <ESTUARIO>.

1233-DBRA-UPT-2023



## SUMMARY

This research aimed to evaluate the contamination by heavy metals in sediments through a comparative Multindex analysis in the estuary "La puntilla", located in the canton of El Guabo, Province of Oro, in southern Ecuador. Twenty-five sediment samples were collected at 11 samplepoints using a fishing boat, PVC pipe, and a single-body borehole. Using the Atomic Absorption Spectroscopy technique, the concentrations of Cadmium (Cd), Lead (Pb), Arsenic (As), Mercury (Hg) and Iron (Fe) were determined. A Pearson correlation analysis was carried out between the physical-chemical parameters of the sediment and heavy metals and an evaluation of the Enrichment Factor, Geoaccumulation index and Ecological Risk index. The results showed significant contamination of Arsenic and Mercury in the mangrove sediments, with a predominant anthropogenic source at points P6 and P7 of Zone 2. The Ecological Risk indices indicated a moderate level of risk in said area. It is recommended to carry out studies during the rainy season to compare the concentrations of metals in the same depths, providing additional information on contamination. This work provides a comprehensive view of heavy metal contamination in mangrove sediments, allowing the identification of higher-risk areas and guiding future environmental management actions.

**Keywords:** <CONTAMINATION>, <HEAVY METALS>, <SEDIMENTS>  
<COMPARATIVE ANALYSIS>, <ESTUARY>.



---

**Ing. Ángel Paul Obregón Mayorga**  
**C.I 060192712-2**



## INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son un grupo definido de elementos químicos inorgánicos cuyo alto ciclo de vida, toxicidad y capacidad de acumulación en tejidos vegetales y animales que causan daños severos a los ecosistemas como también daños genéticos a animales y plantas (Medina, Correa y Barata, 2007, pp.2105-2114). Los metales pesados, a diferencia de los contaminantes orgánicos, no son descompuestos por microorganismos, plantas o animales, ni se someten a procesos químicos, por lo que se acumulan en todos los tejidos y pueden trasladarse desde el suelo contaminado original (Acquavita et al., 2010, pp.95-111). Debido a sus propiedades físicas y químicas, los sedimentos relacionados con los manglares pueden actuar como reservorios y fuentes de metales pesados en las zonas costeras y de estuario (Sundararajan y Natesan 2010, pp.493-506). Por lo tanto, es cada vez más importante estudiar los mecanismos de acumulación de metales pesados en los sedimentos (Botté, Freije y Marcovecchio 2010, pp.371-388).

Las actividades industriales desarrolladas en la provincia del Oro cantón el Guabo concatenan también problemas ambientales en este cantón el 32.65% del territorio es ocupado por actividades agropecuarias y el 23.12% por actividades mineras bajo concesión (GAD El Guabo 2015, p.43), en donde los vertidos de las diferentes industrias son arrojados en los cuerpos hídricos para en lo posterior terminar su causa en las zonas de manglar. En las zonas de estuario del cantón el Guabo se realizan actividades de pesca y recolección con fines de comercialización y alimentación local.

Bajo este contexto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la contaminación por metales pesados mediante un análisis comparativo Multindex, a partir de las características físico – químicas en sedimentos, para cuatro metales pesados, Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Arsénico (As) y Mercurio (Hg). El área de estudio está ubicada al sur de la República del Ecuador, en la Provincia del Oro, específicamente en el cantón el Guabo, zona conocida como Bajoalto. Esta zona tiene características de un ecosistema de manglar donde desembocan el río Siete y el río Chaguana al Océano Pacífico. En esta área se definieron 11 puntos de muestreo, donde se recolectaron 25 muestras de sedimentos, ubicadas a lo largo del estuario delimitadas entre la desembocadura de los dos ríos. Las zonas aledañas a las riberas de los ríos se desarrollan diversas actividades antrópicas que podrían ser causa de un aumento de la carga contaminante en el estuario donde se realiza pesca artesanal.

La presente investigación se desarrolló las siguientes etapas: 1) Caracterización de los parámetros físico – químicos de sedimentos en la zona de estuario; 2) Estudio de la incidencia la profundidad en la acumulación de metales pesados en el sedimento y, finalmente 3) Evaluación la contaminación de metales pesados mediante un análisis comparativo multindex.

Los principales resultados, a partir de un análisis general comparativo, entre los parámetros físico - químicos y los índices de calidad de sedimentos muestran contaminación de As y Hg en sedimentos de manglar, cuya precedencia es de origen antropogénico siendo los puntos de mayor carga contaminante los puntos P6 y P7, ubicados en la zona 2. Tal zona se caracteriza por la abundancia de la especie *Rizhopora Mangle*. La causa probable de mayor acumulación podría deberse a la mayor cantidad de arcillas, retenidas por las raíces de la especie antes mencionada, o por causas humanas al encontrarse cerca del área de influencia de piscinas de camarones.

## **Identificación del problema**

La contaminación causada por metales pesados en los ecosistemas acuáticos y zonas de estuario es una de las problemáticas más grandes en el planeta, debido a que este tipo de contaminación pone en riesgo la seguridad alimentaria a nivel local, regional y global. Las actividades realizadas por el hombre como la explotación de recursos no renovables, junto con la creación de grandes asentamientos urbanos ha incrementado la cantidad de los desechos vertidos a los cauces y, en consecuencia, los sistemas hídricos han perdido la capacidad de depurar los contaminantes antropogénicos que fluyen en su lecho, lo cual ha generado graves alteraciones en los ecosistemas (Argumedo et al., 2021).

El Oro es una de las provincias con mayor producción de banano, a nivel local y regional su producción alcanzó el 37.5% de la producción anual de banano. Anteponiendo el crecimiento de las industrias camaroneras y otras empresas dedicadas a la agricultura avícola y ganadera a gran escala, son factores que aportan a la contaminación del medio acuático. En el cantón el Guabo en la microcuenca del Río Siete y los efluentes que lo conforman, se encuentran concesiones mineras, en su mayoría minería ilegal o artesanal las cuales son causa de problemas ambientales (Sandoval, 2001), estos yacimientos no cumplen con las normativas ambientales como para garantizar la explotación responsable de los recursos mineros (MAE, 2020, pp.33-88). En otra perspectiva la minería ha sido la fuente económica de alrededor de 20.000 personas desde el año 1980, actividad en la cual no ha existido una regulación ambiental o medio de control, causando así bioacumulación de metales pesados en las fuentes hídricas, suelos y sedimentos (Appleton et al., 1996, pp.10-19).

Tomando en cuenta que varios son los efluentes y afluentes que rodean las áreas de explotación minera (vigentes y en estado de abandono), todo el material contaminante es drenado por estos cuerpos de agua, que posteriormente fluyen a través de plantaciones de banano, y en lo posterior el recurso hídrico es utilizado en grandes estanques para la crianza de camarón (Appleton et al., 1996, pp.10-19), finalmente llega hasta las desembocaduras hacia el océano pacífico o zona de manglar del estuario “La Puntilla”, en dicha zona se aprecia la fragmentación del ecosistema, por ende se podrían dar procesos de bioacumulación de metales pesados en sedimentos, convirtiéndose en una problemática para el medio y pobladores de la zona, debido a que los metales pesados no generan problemas a corto plazo, pero puede existir una incidencia muy importante a mediano y largo plazo (Marín-Leal, Rojas-Romero y Polo-Vallejo, 2022, pp.335-349), motivo por el cual se considera realizar una evaluación de varios índices en sedimentos para obtener una evidencia situacional de la presencia de metales pesados en la zona de mangle del estuario la Puntilla.

## **Justificación de la investigación**

Bajo la premisa anteriormente expuesta, la contaminación causada por el mal manejo en la explotación de recursos, es evidenciada por la generación de metales pesados que son expulsados a los sistemas hídricos sin previo tratamiento a causa de la explotación minera de oro (Au), siendo parte del 19.45% de la contaminación del agua y suelos en la provincia (Bravo-González, 2020, pp.215-233), el arsénico, plomo y cobre son metales producto del lavado del oro con técnicas rudimentarias y el posterior desecho de los productos es decir la descarga directa o indirecta desde los embalses de relave, finalmente el punto en donde convergen las aguas de esta microcuenca es el mangle del estuario de la Puntilla en donde se realizan actividades de recolección de moluscos y cultivo de camarón a nivel industrial (Muñoz y Arango-Ruiz 2020, pp.280-296).

Los ecosistemas constituidos por zonas de mangle son muy frágiles por su ubicación geográfica y condiciones climáticas a las que se encuentran sometidos (Carvajal-Oses et al., 2020, pp.277-290), a pesar de ello, cumplen un rol fundamental en el medio ya que aporta mucha variedad de servicios ecosistémicos como la protección contra desastres naturales generados por océanos, sirve de hábitat de flora, fauna y microfauna (inclusive endémica), estabilidad del medio biótico, junto con el beneficio social y económico para los habitantes de la zona (Kintz, Salamanca y Ortiz, 2018, pp.55-64), se considera necesario realizar una evaluación situacional de la calidad edáfica de la zona de mangle del estuario La Puntilla, debido a la influencia minera arrastrada por los afluentes que desembocan en este ecosistema además de la presencia de industrias camaroneras que se encuentran aledañas a la zona, lo que pone en compromiso al equilibrio de este importante ecosistema.

La presente investigación tiene como objeto evaluar la contaminación generada por metales pesados mediante un análisis comparativo guiado por cuatro índices, los cuales demostrarán una validación cuantificable de la contaminación por metales pesados que existe en la zona de manglar del estuario de la Puntilla, junto con el estudio físico químico de los sedimentos del sitio para la mejor comprensión del comportamiento de estos metales en los tipos de suelos muestreados, con la finalidad de realizar un diagnóstico situacional de la zona de mangle durante la cual se desarrolló durante el mes de diciembre del 2022.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluación de la contaminación por metales pesados mediante un análisis comparativo multindex en sedimentos: Caso de estudio estuario la Puntilla, Cantón el Guabo, Provincia del Oro.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar los parámetros físico – químicos de sedimentos en la zona de estuario.
- Definir la incidencia la profundidad en la acumulación de metales pesados en el sedimento.
- Evaluar la contaminación de metales pesados mediante un análisis comparativo multindex.

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 1.1. Antecedentes de la investigación

En Campeche, México se estudió la acumulación de metales pesados en ecosistemas de manglar esto debido a los daños que podrían llegar a causar la presencia de estos elementos en la cadena trófica y en las actividades productivas en general, por ello determinaron las concentraciones de los siguientes metales: Cadmio (Cd), Plomo (Pb) y Níquel (Ni) en los sedimentos de manglar. Los estudios realizados permitieron obtener una valoración de la condición situacional de la zona de manglar en donde 2 de las 4 zonas de estudio presentaron concentraciones de Cd, Pb y Ni respectivamente con niveles superiores a los parámetros permisibles, cuando se realizó la comparación con las concentraciones se observaron diferencias mínimas significativas, a pesar de que los niveles tóxicos son tolerables, advirtieron un aumento en las actividades humanas que utilizan esas áreas como vertederos (Cruz L, Alderete C y Laffón L, 2013, pp.25-30).

En el lago de Maracaibo un estuario hipertrófico el cual presenta un problema de contaminación ambiental desde 1992, fecha en la que se realizaron las primeras extracciones de petróleo en este tipo de estuarios, en la actualidad el lago se encuentra rodeado por aproximadamente 2000 industrias de diverso tipo de producción, en este trabajo (Marín-Leal, Rojas-Romero y Polo-Vallejo, 2022, pp.335-349) analiza los sedimentos como indicadores de la calidad ambiental de los ecosistemas acuáticos considerado el riesgo ecológico que presenta la acumulación de EPT en las comunidades bióticas autóctonas, apoyándose en numerosos índices de evaluación de riesgos que consideran la concentración total o fraccional de los EPT de modo que se encuentren en las directrices de calidad de sedimento para así evaluar el riesgo ecológico en sedimentos costeros del lago de Maracaibo, en este trabajo se utilizaron los índices de enriquecimiento EF, índice de geoacumulación y índice de carga contaminante PLI para así explicar los riesgos potenciales asociados a la presencia de EPT en sedimentos y el posible impacto de éstos en la biota autóctona (Marín-Leal, Rojas-Romero y Polo-Vallejo, 2022, pp.335-349).

En Ecuador en la provincia de Esmeraldas, En la Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje, se realizó una evaluación de la situación actual de los sedimentos de la reserva ecológica, debido que a pesar de formar parte un zona protegida no se encuentra exentas de contaminación y problemáticas ambientales, según (Prieto Méndez et al., 2009, pp.29-44) en este estudio evaluó la contaminación por metales pesados mediante la aplicación de índices de polución basándose en concentraciones analizadas del suelo de la reserva junto con valores de concentraciones de fondo

se aplicaron tres índices: Igeo, EF y PLI, de este modo se determinó que el elemento con valores de contaminación elevado fue el Cadmio (Cd), concluyendo con la necesidad de adoptar cambios sustanciales en prácticas agrícolas y una búsqueda de la reforma a la normativa legal con el fin de suministrar de una manera integrada los lineamientos básicos de acción para la conservación del patrimonio natural (Carlos et al., 2019, p.1).

## **1.2. Bases teóricas**

### ***1.2.1. Ecosistemas de manglar***

Los bosques de manglar son ecosistemas que poseen mucha diversidad como también productividad en las zonas de líneas costeras tropicales y subtropicales, estos ecosistemas ocupan alrededor del 3% de la superficie terrestre (Tejedor-Flores et al., 2021, p.1). Por ello están considerados entre los ecosistemas más vulnerables de la banda tropical y subtropical del planeta y sometidos a procesos de amortiguamiento ambiental en la interfaz entre el continente y el océano

La distribución de los manglares está fuertemente influenciada por la temperatura, corrientes de agua, variaciones en el flujo de mareas, humedad, etc. Hoy la principal problemática que deben enfrentar los manglares son las actividades humanas esto conlleva la destrucción de hábitats, la contaminación, y la explotación no responsable de los recursos. la mayoría de ciudades que se ubican en una zona costera se han asentado cerca de los manglares, razón por la cual estos se encuentran expuestos a la contaminación producida por actividades androgénicas y a una variedad de productos y compuestos químicos, en su mayoría constituidos por metales pesados que se consideran un problema grave para el ecosistema de manglares, ya que se acumulan en la superficie de los sedimentos aumentando así su concentración en la zona de mayor intervención (Sacheri-Viteri et al., 2022, p.1).

### ***1.2.2. Funciones ecosistémicas de los manglares***

Hoy en el mundo los manglares se estiman en 19.9 millones de hectáreas, en donde el mayor porcentaje de manglares nos podemos encontrar en Asia con el 42% de este porcentaje el 20.5% hoy está ubicado en el archipiélago de Indonesia, en el cual el valor de su servicio eco sistémico por hectárea de manglar oscila entre 239 USD americanos y 4185 USD americanos y se espera que para el 2050 los beneficios que este sistema pueda prestar alcancen los 2.2 billones USD (M. Brander et al., 2012, 62-69).

En cuanto a los manglares de América ocupa el 26% de los manglares del mundo que por sus características y por su ubicación geográfica son aptos para el desarrollo de recursos marinos que poseen una alta productividad, hoy en dónde se han desarrollado hoy actividades pesqueras y otros han sido declarados patrimonios mundiales, sin embargo, se han desarrollado estrategias de manejo y planes de gestión para su explotación sustentable y sostenible (López-Angarita et al., 2016, pp.151-162).

El servicio ecosistémico principal a nivel mundial es aquel que está relacionado con la explotación pesquera, seguido por el aprovechamiento forestal, esto representa 539 Kg/Ha de mariscos, 146 de camarones, 5140 de madera y aproximadamente 5,27 mg de carbono/ Ha\* año, por lo que la explotación de los manglares se ha constituido en uno de los pilares económicos de las poblaciones aledañas a la zona de mangle (Salem y Mercer, 2012, pp.359-383).

### ***1.2.3. Manglares en Ecuador***

En el Ecuador los manglares son parte de la continuación del manglar ubicado en Tumaco, Colombia, continuando por Mataje seguido del estuario de San Lorenzo y Limones, hasta la Tola, recorriendo así un porcentaje considerable de la costa ecuatoriana para finalmente terminar en Puerto Bolívar y Santa Rosa hasta 25 km al sur de la frontera de Ecuador con Perú (Solis, 1961, pp.69-88).

En la década de los 60 uno de los principales recursos forestales del Ecuador estaba constituido por los manglares de la costa, principalmente por aquellos que se encuentran situados en el estuario del Santiago, en la provincia de Esmeraldas como también los del golfo de Guayaquil hacia el sur es decir hasta la desembocadura del río tumbes en el Perú, hoy en día es un producto de gran demanda para la exportación, la especie conocida como *Rhizophora mangle* es la de mayor abundancia en la zona de mangle , varias firmas comerciales han estado interesadas en la explotación de este recurso, desgraciadamente fueron intervenidas sin ningún estudio previo provocando así la destrucción total en varias zonas de nuestro país como es el caso del golfo de Guayaquil y la bahía de San Lorenzo (Solis, 1961, pp.69-88).

### ***1.2.4. Contaminación en zonas de mangle***

#### ***1.2.4.1. Contaminación por metales pesados***

La mayoría de los ecosistemas se exponen a una gran cantidad de sustancias contaminantes que provienen de actividades urbanas e industriales en donde cantidades representativas de residuos



y contaminantes son arrojados hacia los ecosistemas, la mayoría de las veces estos residuos no reciben ningún tipo de pretratamiento lo que genera consecuencias adversas para el ecosistema (Ramos R y Muñoz A, 2015, pp.133-146).

Según (Londoño Franco, Londoño Muñoz y Muñoz García, 2016, p.145), los contaminantes que involucran un mayor riesgo en contaminación a nivel ambiental son los metales pesados los cuales provienen de la explotación metalúrgica, los cuales provocan efectos tóxicos en la biota aun en bajas condiciones, estos elementos químicos generan problemáticas cuando exceden los límites permisibles, generando bioacumulación en suelos, agua y productos alimenticios (Yépez-Moreira, 2019, p.1).

#### *1.2.4.2. Sedimentos contaminados con metales pesados*

En los ecosistemas acuáticos los sedimentos albergan de forma natural los contaminantes constituyéndose en los reservorios principales de sustancias de origen antrópico. El mercurio es un claro ejemplo de cómo se puede bioacumular en los sedimentos de manera poco biodisponible y con dificultad de remover debido a la presencia de sulfuros y materia orgánica (Marín-Leal, Rojas-Romero y Polo-Vallejo, 2022, pp.335-349). Una cantidad no considerable de mercurio adherido a las partículas de los sedimentos puede llegar hasta la biota formando parte de las cadenas de agua y posteriormente de la cadena trófica (Monikh et al., 2013, pp.112-115). De todos los elementos químicos tóxicos que podemos encontrar en el medio el plomo es uno de los más persistentes. La concentración promedio de plomo en la tierra es de 1.6g por cada 100 Kg de suelo, es así como la producción total de plomo ronda los 43 millones de toneladas por año (Antonio y Jürgen, 2014, p.77).

Es de gran interés el estudio de metales pesados tóxicos en estos ambientes debido a que, con relación con otros contaminantes, no tienen la capacidad de biodegradarse y sufren un ciclo ecológico global en el cual las aguas naturales es una de las principales vías de incorporación al ciclo (Hardstedt y Laumond, n.d., p.1). Los metales en general son tóxicos, pero como tal no poseen características específicas que los vuelven tóxicos, es la concentración de los mismos en elevadas cantidades lo que los vuelve un componente perjudicial, aun más con la capacidad que poseen los sedimentos para bioacumularlos.

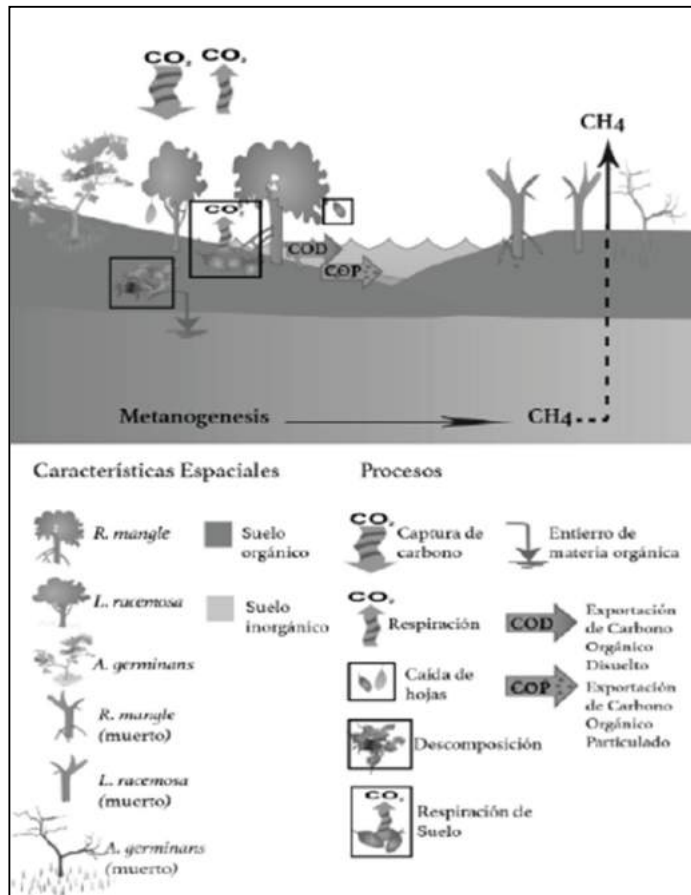
#### *1.2.5. Carbono orgánico en manglares*

Los ecosistemas agroforestales son los principales receptores de información sobre la cantidad, calidad y renovación del carbono orgánico del suelo (COS). No obstante, los manglares y el

manejo de sus bosques representan una oportunidad considerable para el almacenamiento de carbono (Valdés Velarde et al., 2011, p.1), llegando a almacenar concentraciones de (~1000 Mg C/ha). Estos ecosistemas figuran como una importante fuente de recursos forestales para toda la franja intertropical del planeta (Moreno Cáliz et al., 2002, p. 116); están conformados por árboles o arbustos y se ubican cerca de arroyos, estuarios y lagunas costeras (Díaz Gaxiola, 2011, p. 356).

Los manglares contienen reservas de carbono orgánico (CO) tanto sobre el suelo como por debajo del suelo, con un promedio de 956 Mg C/ha total. Aquí la tasa de degradación es menor y, como resultado, la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico del suelo puede ser mayor que en los sistemas de agua dulce, lo cual representa una de las mejores opciones para la acumulación de carbono, nutrientes, sedimentos y contaminantes, los mismos que ayudan a la disminución de la ruptura de la capa de ozono y el efecto invernadero (Moreno Cáliz et al., 2002, p. 116).

Debido a la influencia de la hidrología, los procesos que se identifican con mayor frecuencia en estos ecosistemas son: la caída, la descomposición de la hojarasca, la exportación o importación de partículas y el carbono orgánico disuelto. Como resultado de lo anterior, los ecosistemas de manglares son lugares donde ocurre un intenso procesamiento de materia orgánica, por ende, tienen un impacto potencial significativo en el presupuesto mundial de carbono (Herrera Silveira et al., 2016).



**Ilustración 1-1:** Almacenamiento y flujos de carbono en manglares

Fuente: (Herrera Silveira et al., 2016, p.3).

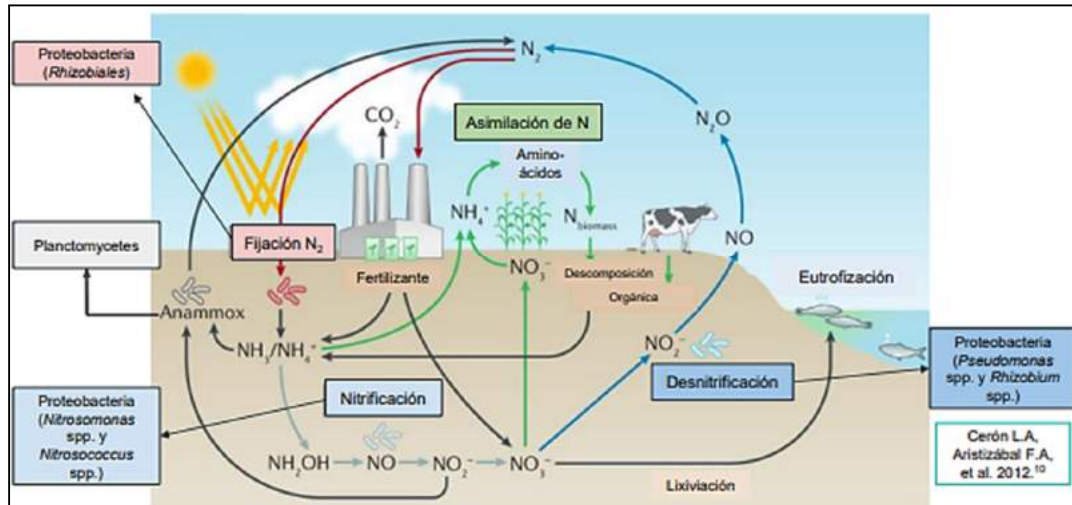
#### 1.2.5.1. Carbono orgánico en sedimentos de manglares

El carbono orgánico en los manglares se acumula como biomasa (hojas, ramas, troncos, raíces y madera) o como componente de desechos orgánicos enterrados en sedimentos, donde pueden llegar a conservarse durante mucho tiempo (Aldana Gutiérrez et al., 2021, p.2). Su concentración y distribución está determinada por diversos factores como el flujo de agua, el tamaño de grano del sedimento, la producción biológica y el nivel de mineralización (Calva B y Torres Alvarado, 2000, p.2). El carbono orgánico en sedimentos de manglares proviene de tres fuentes principales: alóctonas, autóctonas, y antropogénicas (Calva Benítez et al., 2006, p.2).

Los sedimentos son un factor clave en la regulación ecológica de los manglares, ya que estos constituyen reservorios que contienen concentraciones significativas de oligoelementos, nutrientes y materia orgánica (tanto en forma disuelta como particulada); además, sirve como sustrato para los diferentes microorganismos involucrados en los procesos biogeoquímicos de Re

mineralización, a su vez como fuente de energía potencial para la producción secundaria bacteriana en el sistema (Calva Benítez et al., 2006, p.2).

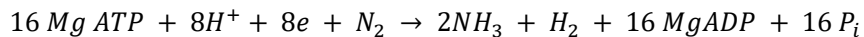
### 1.2.6. Nitrógeno en los sedimentos de mangle



**Ilustración 2-1:** Estructuración del ciclo del nitrógeno

**Fuente:** (Ramírez Lozada y Rojas Villamil, 2020, p.15)

La fijación de nitrógeno en manglares es llevada a cabo por la nitrogenasa a través de la siguiente reacción:



Los manglares carecen de ciertos nutrientes, particularmente de nitrógeno y fósforo, no obstante, son ecosistemas muy productivos. Esto se debe a la actividad microbiana presente en el sistema y a su reciclaje de nutrientes (Holguín y Bashan, 2007, pp.239-253). La distribución del nitrógeno en estos ambientes está determinada principalmente por la dirección de las corrientes y su mineralización, la cual aumenta en las áreas cercanas a los manglares, indicando la presencia de materia orgánica (Calva B y Torres Alvarado, 2000, p.2).

En sedimentos de mangle, se ha descubierto que la mayor producción bacteriana está correlacionada con la presencia de árboles. Las bacterias involucradas en el metabolismo del nitrógeno hacen que los suelos plantados tiendan a mostrar tasas más altas de fijación de nitrógeno a comparación de los suelos deforestados. Las plantas, además de proporcionar alimento a la comunidad microbiana con exudados de raíces, también pueden cambiar las propiedades fisicoquímicas del suelo y afectar el crecimiento de bacterias que viven en la rizosfera (Holguín y Bashan, 2007, pp.239-253).

### ***1.2.7. Geo-disponibilidad de metales pesados***

Los metales se clasifican según sus características físicas en estado sólido, tales como: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica y propiedades mecánicas como resistencia y ductilidad (Reyes Navarrete et al., n.d., p.1).

Los metales pesados tienen como referencia a cualquier sustancia química metálica, con una densidad relativamente alta, llegando a ser tóxicos o venenosos, inclusive en cantidades pequeñas; al tratarse de varios elementos, los principales metales pesados de interés son: mercurio (Hg), níquel (Ni), arsénico (As), cobre (Cu), plomo (Pb) y cromo (Cr). Estos elementos se encuentran en la naturaleza en los minerales, sales u otros compuestos de la superficie terrestre, y no se pueden descomponer o degradar fácilmente de forma natural o biológica, debido a que carecen de funciones metabólicas específicas (Prieto Méndez et al., 2009, pp. 29-44).

Estos metales pesados son peligrosos en altas concentraciones puesto que, tienen una propensión a bioacumularse en varios ambientes; pueden, en cierta medida, ser ingeridos por seres vivos y transportarse a través del agua y aire debido a su movilidad en esos medios, causando daño al ambiente. (Prieto Méndez et al., 2009, pp. 29-44).

### ***1.2.8. Procedimiento para la toma de muestras de sedimentos***

Para la extracción de muestras se debe definir un argumento de muestreo, el cual está aplicado conforme al área de influencia. Como su entorno, existencia de afluentes, usos del sistema, posibles fuentes de contaminación entre otras, las características que describen la forma y tipo de muestra que se tomara es definido bajo los siguientes aspectos (Herranz, M; Bolívar, J; Pérez, E Liger, E; Payeras, J; Pinilla, 2007, p.26).

- Si el muestreo se realiza en el sistema acuático, se deberá muestrear por lo menos un punto que en lo posible tiene que estar cerca del área de descarga, pero alejado de las turbulencias creadas por el cuerpo hídrico.
- Si el sistema es el mar la toma de muestras se deberá realizar en puntos relativamente alejados de las corrientes principales o afluencias.
- Si en la zona de estudio hay localizaciones en donde se mezclen aguas de diferentes procedencias y que presumiblemente tengan variaciones en las propiedades fisicoquímicas, se deberá ubicar un punto de muestreo en cada una de las localizaciones.

### *1.2.8.1. Equipos*

Los equipos de campo de acuerdo con la investigación son los siguientes:

- Embarcación pequeña tipo pesquera
- Neveras portátiles
- Espátula o pala
- Bolsas de polietileno
- Barreno de una sola pieza
- Papel plástico transparente
- Tubos de PVC

### *1.2.8.2. Procedimiento para la extracción de muestras*

Los instrumentos utilizados para el muestreo son tubos de PVC, que sirvieron para obtener muestras en función de la profundidad del sedimento de mangle y el barreno de una sola pieza para las muestras compuestas.

- Para la toma de muestras en función de la profundidad se procedió a presionar el tubo sobre el suelo, de este modo el sedimento entra en el tubo conforme se vaya presionando, previamente se procedió a realizar un vacío en la parte superior del tubo con la ayuda de una media nylon.
- Con la ayuda del barreno de un solo cuerpo se toma la muestra hasta una profundidad máxima de 30 cm con el objetivo de recolectar 500gr de sedimento.
- Finalmente se empaco las muestras en las fundas de polietileno con el respectivo rotulado.

### *1.2.8.3. Conservación y transporte de muestras*

Para el transporte de las muestras de sedimento, tanto compuestas como de profundidad, se colocan en un refrigerador portátil las cuales se conservaron a 4°C hasta su posterior almacenamiento en una nevera a -2°C, siguiendo la metodología planteada por, (Parques Nacionales Naturales de Colombia y Amazonia - Dirección Territorial, 2018, pp.4-24).

### **1.2.9. Tratamiento de las muestras**

#### **1.2.9.1 Secado de muestras**

El sedimento previamente extendido sobre una superficie seca se deja secar en un lugar seco y a la sombra. Se debe disgregar los terrones formados para que exista un secado homogéneo, el secado se puede realizar con la ayuda de un horno a una temperatura de 40°C por un periodo menor o igual a 40 horas (IDEAM, 2020, pp.248-253).

En función del criterio mencionado se colocaron las muestras en papel cartón, esparciendo la muestra de manera uniforme para en lo posterior dejar que se secaran a temperatura ambiente.



**Ilustración 3-1: Secado de muestras de profundidad**

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).



**Ilustración 4-1: Secado de muestra de mangle**

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

#### **1.2.9.2 Trituración de las muestras**

Una vez que el suelo se encuentre completamente seco, se escogen los fragmentos extraños que contenga la muestra como raíces, piedra o materiales no propios de la muestra. Las partículas

gruesas se rompen con la ayuda de un mortero de esta manera se homogeniza y tritura fragmentos que en lo posterior no se puedan tamizar.



**Ilustración 5-1:** Trituración de la muestra

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

### 1.2.9.3 Tamizado de muestras

Una vez que la muestra ha sido cernida se pasa el sedimento a través de un tamiz analítico ASTM de 2mm y luego uno de 180  $\mu\text{m}$ . Finalmente se colocaron las muestras en bolsas sellables con seguros herméticos.



**Ilustración 6-1:** Tamizado de muestras

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

### 1.2.10. Caracterización fisicoquímica de las muestras de mangle

Los parámetros fisicoquímicos fueron analizados mediante las siguientes metodologías, las cuales fueron realizadas sin modificaciones para considerar:



**Tabla 1-1:** Metodologías para la determinación de parámetros físicoquímicos

Parámetro y características	Método	Descripción	Referencia
pH	Potenciómetro	Se trata de un método analítico que emplea un dispositivo conocido como potenciómetro para determinar la acidez o alcalinidad de una solución.	(USDA, 1999, pp.225-233)
Conductividad eléctrica (CE)	Conductividad eléctrica	Se utiliza el método de la conductividad eléctrica para medir la conductividad de una solución mediante un conductímetro aplicado a una muestra de esta.	(FAO, 2014, p.4)
Textura	Determinación de textura de suelos por método organoléptico	Implica la percepción sensorial humana a través de la palpación, frotamiento y prensado de muestras secas de suelo para clasificar en diferentes clases texturales.	(FAO, 2014, p.4)
Color	Libro de Munsell	El método de Libro de Munsell es un procedimiento que utiliza una tabla de colores con una codificación en tres dimensiones (matiz, croma, valor) para determinar el color de los suelos	(Daniel, 2002, p.619)
Densidad real	Picnómetro	Consiste en llenar un picnómetro con un volumen conocido de líquido y medir su masa. Luego se vacía el picnómetro y se vuelve a pesar. A partir de la masa y del volumen conocido picnómetro, se calcula la densidad real del líquido	(Gisbert Blanquer, Ibañez Asensio y Moreno Ramón, 2010, p.1)
Materia orgánica	Método de Ignición	Consiste en quemar la muestra a alta temperatura en un horno y medir la cantidad de residuos que quedan. La cantidad de residuos que quedan después de la combustión indica la cantidad de materia orgánica presente en la muestra.	(Hoogsteen et al. ,2015, pp.320-328)
Carbono total	Dumas	Utiliza la combustión de la muestra en un horno de alta temperatura y la posterior medición del dióxido de carbono resultante. La cantidad de dióxido de carbono producido se utiliza para calcular la cantidad de	(Nalda Romero, 1997, pp.297-314)

			carbono orgánico presente en la muestra.
Nitrógeno total	Dumas		Implica la combustión de la muestra en un horno a alta temperatura y la medición del nitrógeno liberado durante la combustión mediante la absorción del gas liberado en ácido sulfúrico. (Nalda Romero, 1997, pp.297-314)
Extracción de metales pesados	Digestión acida		El método implica la disolución de la muestra en un ácido fuerte, como el ácido nítrico. La disolución de la muestra se lleva a cabo en un horno de microondas o mediante calor y agitación en una placa caliente. (EPA, 1996, p.723)
Concentración de metales pesados por el método 7000B, FLAA	Espectrofotometría de absorción atómica con tubo en la llama	de con	Implica la vaporización de la muestra líquida en una llama producida por un gas combustible, después de lo cual los átomos de los metales absorbentes emiten fotones en una longitud de onda específica. (Argumedo, 2021, p.68)
Determinación de textura en el suelo	Densímetro Bouyoucos - Método abreviado	de	Este método se basa en la medición del peso específico de una suspensión de suelo en un líquido dispersante, que generalmente es agua o soluciones salinas de baja concentración para determinar la textura del suelo. (Day, 1965, pp.545-567)

**Realizado por:** (Aldás Pablo., 2023).

### ***1.2.11. Segmentación de muestras***

Para criterios de análisis se segmentó las muestras en función de la profundidad del sedimento de manglar obtenidas a partir del muestreo haciendo uso del tubo PVC de 30 cm.

- Secado de la muestra conservando la forma del tubo y la estructura original de la muestra.
- Identificación de la parte superior e inferior de la muestra para realizar los cortes (rotulación previa en la toma de muestra)
- Medición de las muestras estableciendo segmentos, se realizó los cortes cada 5cm conformando las siguientes medidas (0-5;5-10;10-15;15-20) cm.
- Se procedió a separar cada una de las muestras segmentadas en bandejas de aluminio con su respectiva rotulación para su posterior molienda y tamizado.



**Ilustración 7-1:** Segmentación de la muestra

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

### 1.2.12. Factor de enriquecimiento (*FE*)

El parámetro conocido como "factor de enriquecimiento" ha sido aplicado en estudios de ecotoxicología y química ambiental como una referencia importante. Este parámetro tiene en cuenta los elementos más comunes en la corteza terrestre, incluyendo Al, Si y Fe (Shotyk et al., 2002, pp.3893-3900). Actualmente, el Fe se utiliza como una aproximación del contenido de arcilla en estos cálculos. En el caso específico que se estudió, se consideró que el Fe era un elemento conservativo (del Águila Juárez, Lugo de la Fuente y Vaca Paulín, 2005, pp.155-161).

Este modelo se representa de la siguiente manera:

$$FE = \frac{\left(\frac{M_x}{Fe_x}\right)}{\left(\frac{M_b}{Fe_b}\right)} \quad \text{Ec.1}$$

En el caso de muestras de suelo contaminado, la concentración de metales pesados y hierro se expresa como  $M_x$  y  $Fe_x$ , mientras que en relación con un material de referencia se utilizan  $M_b$  y  $Fe_b$ . Si la concentración de Fe es mayor que 1, entonces se considera que existe contaminación en el elemento cuantificado y se requieren medidas de remediación. Por otro lado, si la concentración de Fe es menor que 1, se indica que no hay problema aparente de contaminación en la muestra.

**Tabla 2-1:** Clases de factores de enriquecimiento de un metal pesado

Clases de factor de enriquecimiento	Origen del elemento (metal pesado)
1-10	De la roca madre
10-500	Moderadamente enriquecido, e indica otra fuente de enriquecimiento adicional a la roca madre
<500	Indica un alto enriquecimiento y muestra que existe una grave contaminación de origen antropogénico

Fuente: (Lawson y Winchester,1979)

Realizado por: (Aldás, Pablo., 2023)

### 1.2.13. Índice de geo-acumulación

El índice de geo acumulación ( $I_{geo}$ ) es un parámetro que se utiliza para evaluar el grado de contaminación de metales pesados en un área determinada. Este índice compara las concentraciones de metales en una muestra de suelo con los niveles de fondo típicos de la región. Si el valor del  $I_{geo}$  es mayor que cero, esto indica que los niveles de metal en el suelo son más altos que los niveles de fondo normales y sugiere que puede haber una fuente de contaminación. De esta manera, el índice de geo acumulación puede ayudar a identificar y evaluar la contaminación ambiental en una zona determinada en términos de suelos (Pérez Mora, 2021, p.1).

**Tabla 3-1:** Clases de índices de geo acumulación con diferentes valores de intervalo

Valor de $I_{geo}$	Clases de $I_{geo}$	Grado de contaminación
0	$I_{geo} \leq 0$ ,	No contaminado
1	$0 < I_{geo} \leq 1$	No contaminado a moderadamente contaminado
2	$1 < I_{geo} \leq 2$	Moderadamente contaminado
3	$2 < I_{geo} \leq 3$	De moderado a fuertemente contaminado
4	$3 < I_{geo} \leq 4$	Fuertemente contaminado
5	$4 < I_{geo} \leq 5$	De fuertemente contaminado a extremadamente
6	$I_{geo} > 5$	Extremadamente contaminado

Realizado por: (Aldás, Pablo., 2023)

Este índice de geo acumulación da a conocer un valor numérico que presenta un intervalo en donde el suelo analizado se considere contaminado por sustancias orgánicas e inorgánicas, este valor numérico se obtiene a partir de la aplicación de la siguiente formula:

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \frac{C_n}{1.5 * B_n} \quad \text{Ec. 2}$$

En donde  $C_n$  es la concentración del elemento contaminado y  $B_n$  la concentración geoquímica del metal, que fue encontrado en la corteza terrestre (Juárez, Fuente y Vaca, 2005, 154-161).

#### 1.2.14. Índice de riesgo ecológico (IR)

El índice se calcula a través de una fórmula que involucra la sumatoria del factor potencial de riesgo  $E_i$  para cada metal presente en la muestra:

$$IR = \sum_{i=1}^n E_i \quad \text{Ec. 5}$$

$$E_i = T_i * PI_i \quad \text{Ec. 6}$$

Donde  $T_i$  es el factor de respuesta tóxico para cada metal, expuesto en tablas.

El  $PI_i$  indica el factor de contaminación ( $FC$ ) de cada metal, donde:

$$FC = \frac{Mx}{Mb} \quad \text{Ec. 7}$$

Para calcular el índice de riesgo, se utilizan dos concentraciones: una concentración de referencia del metal ( $Mb$ ), y la concentración del metal en la muestra ( $Mx$ ). La fórmula para calcular el índice implica la comparación entre estas dos concentraciones. Por lo tanto, los valores resultantes se clasifican en diferentes categorías según el nivel de riesgo que presenten. En este sentido, si el índice de riesgo es menor o igual a 150, se considera que el riesgo es bajo. Si el índice de riesgo está entre 150 y 300, se considera que el riesgo es moderado. En cambio, si está entre 300 y 600, el índice indica un nivel moderado de riesgo. Por último, si el índice es mayor a 600, se considera que existe un alto potencial de riesgo ecológico (Hakanson, 1980, pp.975-1001).

**Tabla 4-1:** Nivel de riesgo ecológico

Valores $E_r^i$	Valores RI	Nivel de riesgo ecológico
<40	<150	Bajo
40-80	150-300	Moderado
80-160	300-600	Considerable
160-320	600-1200	Alto
$\geq 320$	$\geq 1200$	Muy Alto

Fuente: (Hakanson, 1980, pp.975-1001).

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

### 1.2.15. Valores de fondo de los informes de Turekian & Wedepohl

Varias tablas sobre la abundancia de los elementos de la corteza terrestre han sido publicadas desde los años 1950, en dónde se ha recopilado información para uso general, en varias de estas tablas se han encontrado deficiencias en algunos aspectos relacionados a la distribución geoquímica de los elementos es por ello que estos dos autores han modificado y recopilado lo suficiente información con base en dos grandes estudios para tener valores con menor incertidumbre y qué más se acerquen a la realidad geoquímica de la corteza terrestre (Turekian et al., 1961, pp.175-192).

**Tabla 5-1:** Concentraciones teóricas de fondo para la evaluación de los índices

Elemento	Concentración teórica de fondo (mg/kg)
As	13
Cd	0.3
Pb	20
Hg	0.4

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

## 1.3. Bases conceptuales

### 1.3.1. Riesgo ecológico

Los riesgos ecológicos o riesgos ambientales están relacionados con las acciones de las empresas, muchas veces accidentales, que pueden causar daños al medio ambiente. Por lo tanto, el riesgo ecológico es la probabilidad de que ocurra un fenómeno que afecte el medio ambiente («DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO», 2005, pp.11-21).

### **1.3.2. Manglar**

Los bosques de manglar son agrupaciones anfíbias de plantas leñosas arbóreas o arbustivas que poseen una elevada tolerancia a la salinidad. Estas especies se encuentran ubicadas a nivel del mar influenciadas de forma directa por las mareas, en las desembocaduras y estuarios de los ríos. Este tipo de ecosistemas llevan el nombre de manglar debido a su especie vegetal dominante que se conoce comúnmente con el nombre de mangle («ONU-REDD P R O G R A M A», n.d., p.1).

### **1.3.3. Estuario**

Un estuario corresponde a un cuerpo de agua que se encuentra encerrado debido a las aguas dulces provenientes de ríos y quebradas que fluyen con destino hacia el océano y se mezclan con el agua salada del mar. Los estuarios y las áreas que circundan a esta zona son ecosistemas de transición de tierra a mar y de agua dulce a salada («Los estuarios | US EPA», n.d., p.1).

### **1.3.4. Metales pesados**

Los metales son componentes naturales de la corteza terrestre. Desempeñan un papel importante en los organismos vivos porque son los elementos básicos de las funciones bioquímicas y fisiológicas de los organismos vivos. Algunos de ellos son oligoelementos esenciales para el mantenimiento de los sistemas bioquímicos de los organismos vivos, como el cobre, el manganeso o el zinc, imprescindibles en el metabolismo de los mamíferos. También pueden ser toxinas potentes para los seres humanos y los ecosistemas según su vía de exposición, la dosis absorbida, la química del metal y más (Ferré et al., 2007, pp.50-58).

### **1.3.5. Análisis comparativo**

El análisis comparativo implica examinar dos o más métodos, así como productos, datos, capacidades, sistemas y cualquier otra cosa que se pueda comparar para evaluar y tomar decisiones basadas en los resultados. Al hacer esto, puede verificar sus similitudes, dimensiones, diferencias, aumentar o disminuir, y seguir el progreso de las cosas y las cosas comparadas (Análisis Comparativo, 2023, p.1). Estos estudios ocupan un lugar destacado en las ciencias sociales, puesto que se han consolidado como insumo para el diagnóstico de problemas sociales y el diseño de políticas públicas, así como un parámetro de referencia y fuente de legitimidad; así mismo, por la importancia de las explicaciones, interpretaciones y explicaciones fácticas que se pueden hacer a partir de ellos (Piovani & Krawczyk, 2017, pp.821-840).

### **1.3.6. Sedimento**

El sedimento es un material sólido que es transportado por el viento, el agua o el hielo y se deposita en capas no consolidadas. Su principal característica es la variedad de composición, estructura y textura que posee, según el medio en el que se formó y las transformaciones que haya sufrido a lo largo del tiempo (Arias Madrid et al., 2012, p.52).

### **1.3.7. Mercurio (Hg)**

Es un metal líquido que, además de existir en su forma elemental, también se puede encontrar en derivados inorgánicos y productos naturales. La fase química en la que se encuentre tiene un impacto significativo en el nivel de toxicidad que exhibe el mercurio. El mercurio elemental puede emitir vapores tóxicos a cualquier temperatura y causar intoxicaciones agudas y crónicas por inhalación. Sin embargo, debido a que es solo ligeramente soluble, no es particularmente tóxico cuando se consume. El metilmercurio es una de las formas del metal que tiene un alto nivel de toxicidad, es muy fácil de introducir en la cadena alimentaria y se bioacumula en los seres vivos (Reyes et al., 2016, pp. 66-77).

### **1.3.8. Arsénico (As)**

Es un elemento abundante que se encuentra en la hidrosfera, la biosfera, la atmósfera, en rocas y suelos. Se presenta en los cuatro estados de oxidación: As (V), As (III), As (0) y As (-III). Las especies pueden ser de origen inorgánico u orgánico y varían según el grado de oxidación (Reyes et al., 2016, pp. 66-77). Se libera en el medio ambiente por medio de una serie de procesos antropogénicos y naturales. Para el cuerpo humano, el arsénico es un elemento muy tóxico. Además, la exposición a bajas concentraciones relativas de arsénico durante un período prolongado puede tener efectos nocivos que no solo son agudos y potencialmente fatales en concentraciones altas (Lillo, n.d., p.2).

### **1.3.9. Plomo (Pb)**

El plomo (Pb) es un metal pesado altamente tóxico; su presencia en el medio ambiente se debe principalmente al uso que se le ha dado en actividades antrópicas como la industria, la minería y las fundiciones debido a su alta resistencia a la corrosión, ductilidad, maleabilidad y facilidad para formar aleaciones. Al inhalarlo, ingerirlo o aplicarlo tópicamente, el plomo se absorbe (Reyes et al., 2016, pp. 66-77). Dado que resulta de la división radiactiva, con frecuencia se vincula a otros metales



y se puede encontrar en metales de uranio y torio. Los minerales comerciales generalmente solo tienen un contenido de plomo pequeño (3%) a 10%. Los minerales pueden contener hasta un 40% o más de plomo antes de la fundición (Londoño Franco et al., 2016, p.149).

### ***1.3.10. Hierro (Fe)***

El hierro es un metal que está involucrado en procesos humanos cruciales como la respiración celular y los sistemas enzimáticos que mantienen la integridad celular. Así mismo, desempeña muchas funciones cruciales. Aparece principalmente en la naturaleza como polímeros, hidróxido férrico u óxido. Debido a su participación en casi todos los procesos de oxidación-reducción, el hierro es un elemento necesario para la vida. Es un componente crucial de las enzimas del ciclo de Krebs, participa en la respiración celular y funciona como transportador de electrones en los citocromos (Tostado Madrid et al., 2015, p.190).

### ***1.3.11. Cadmio (Cd)***

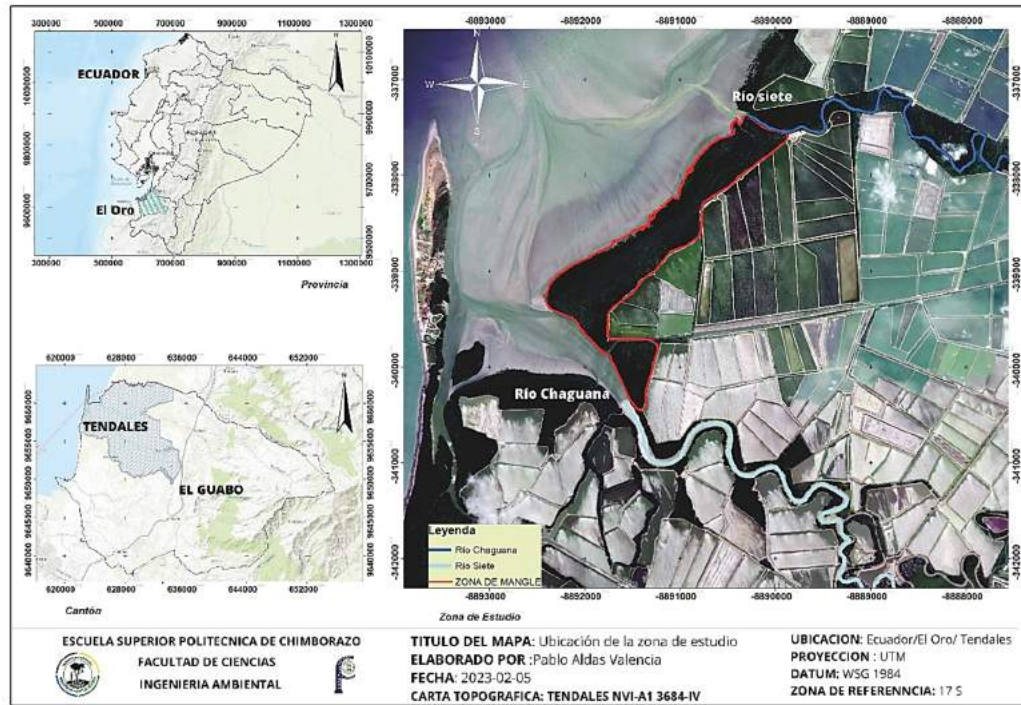
El cadmio está incluido en la estructura natural de algunas rocas y suelos y es responsable de la liberación de aproximadamente 25.000 toneladas de este metal al medio ambiente. Su uso industrial y agrícola generalizado ha llevado a un aumento constante de la producción. Solo el 5% del metal se recicla y, debido a su notable movilidad, contribuye significativamente a la contaminación ambiental. Uno de los metales pesados que se sabe que tiene la mayor propensión a acumularse en las plantas es el cadmio, que puede perturbar gravemente la capacidad de una planta para transportar agua y absorber nutrientes (Reyes et al., 2016, pp. 66-77).

El hígado y los riñones es donde se concentra la mayor parte del cadmio que ingresa al cuerpo a través de las vías respiratorias u orales después de ser transportado a la sangre. Incluso en bajas concentraciones, el cadmio tiene la capacidad de acumularse en estos órganos esenciales y provocar daños irreparables. Sin embargo, la cantidad de tiempo que se pasa en estos órganos puede ser sustancial (Reyes et al., 2016, pp. 66-77).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO METODOLÓGICO

#### 2.1. Identificación del área de estudio



**Ilustración 1-2:** Mapa de ubicación de la zona de estudio y los ríos Siete y Chaguana.

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

El área de estudio es la zona de mangle del estuario “La Puntilla” que se muestra en la figura 1-2, se sitúa en el extremo occidental de las parroquias Tendales y Borbones en el cantón El Guabo de la provincia El Oro, esta área se encuentra en el perfil costanero perteneciente al Océano Pacífico, específicamente en la desembocadura de los ríos Siete con Latitud:  $3^{\circ} 3'40.78''$  S y Longitud:  $79^{\circ}52'11.34''$  O. y Chaguana, latitud  $3^{\circ} 4'38.17''$ S y longitud  $79^{\circ}52'22.84''$ O. El manglar está constituido por vegetación de tipo raíces de zancudas, donde se puede evidenciar la presencia limitada de hierbas de lechos y ocasionalmente algunas epífitas especialmente de la familia Bromeliaceae, con una cobertura de mangle en donde se realizan actividades de pesca y recolección.

En el cantón el Guabo se encuentran relieves de suelos planos y casi planos en un porcentaje ubicados netamente al occidente del cantón, mientras que los terrenos escarpados, montañosos y

ligeramente ondulados están ubicados en la zona oriental, en donde se originan las cuencas y microcuencas de los ríos Siete y Chaguana. Este tipo de ecosistema se caracteriza por poseer tres tipos de clima, la zona occidental del cantón está definida por un clima tropical mega térmico seco, y en el este se encuentran dos climas diferentes como son el tropical mega térmico semihúmedo y el ecuatorial mesodérmico semihúmedo (MAGAP, 2015).

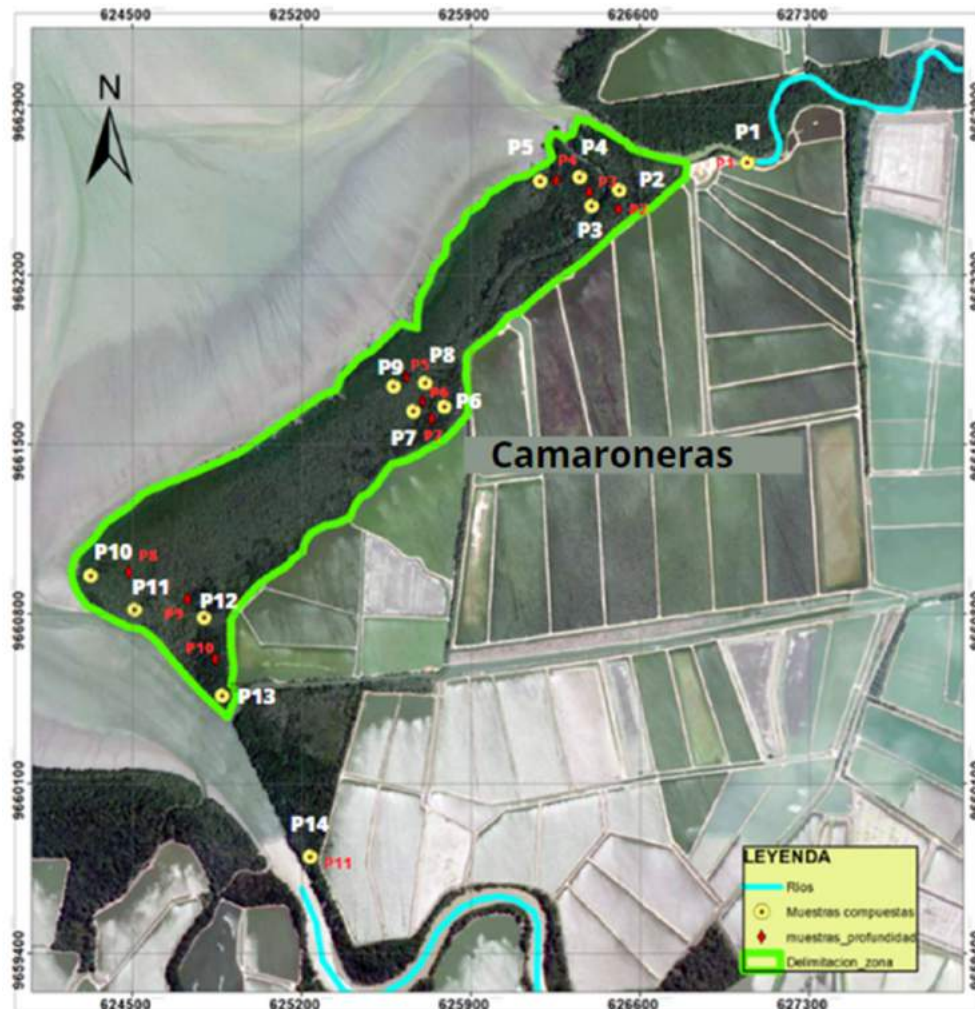
El Río Siete se origina en la ladera del cerro La Rica Ensillada, en la parte oeste del cantón el Guabo, esta es la zona más representativa en cuanto a coberturas de suelo aquí se encuentran grandes extensiones dedicadas al cultivo de banano, cacao, camaroneras y actividades mineras. Por ende, la mayoría de los desechos contaminantes se vierten directamente sobre este efluente y sus afluentes aguas arriba (MAGAP, 2015). El río Siete tiene un caudal promedio de 0,2-0,3 m<sup>3</sup> /s, mientras que en temporadas invernales su caudal es de 2,5 a 7 m<sup>3</sup> /s.

El río Chaguana se forma de la cuenca del río Jacinto y otros afluentes a 2900 metros sobre el nivel del mar, este río es en realidad una subcuenca perteneciente a la gran Cuenca del Río Pagua. La cuenca del río cubre un área aproximada de 32000 ha, en donde el 27.3% del uso de suelo está destinado a la agricultura y otras actividades industriales además de la presencia de minería artesanal aguas arriba, por otro lado, el porcentaje restante conserva bosques y vegetación nativa (Domínguez-Granda, Goethals y Pauw, 2005, p.1), por lo que los pobladores alledaños al río realizan actividades de pesca.

## **2.2. Ubicación de la investigación**

Los análisis de laboratorio, que corresponde a una parte de la investigación “EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS MEDIANTE UN ANÁLISIS COMPARATIVO MULTINDEX EN SEDIMENTOS: CASO DE ESTUDIO ESTUARIO LA PUNTILLA, CANTÓN EL GUABO, PROVINCIA DEL ORO.”, se llevaron a cabo en el Laboratorio de Analítica e Instrumental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), ubicada en la Panamericana Sur, km 1½, en la ciudad de Riobamba

### 2.2.1. Determinación de los puntos de muestreo



**Ilustración 2-2:** Localización de los puntos de muestreo en la zona de estudio.

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

Mediante el software ArcGIS 10.8, se realizó una identificación previa de la zona de manglar y se definió los factores de que determinarían el muestreo. Se tomó en consideración el tamaño del área de estudio para la distribución de los puntos, como también el factor de accesibilidad a cada uno de ellos.

En la Ilustración 2-2 se muestra la distribución de los puntos de monitoreo, los cuales se encuentran establecidos en tres zonas en el área de manglar, la “Zona 1” que se encuentra en la desembocadura del río Siete, una segunda locación, “Zona 2”, ubicada en la mitad del manglar y una tercera zona de mangle, “Zona 3” la cual está comprendida en la desembocadura del río Chaguana. Adicional a ello, se tomaron muestras en los ríos Siete y Chaguana, específicamente a

500 metros de la desembocadura de cada río, que corresponden a los puntos (P1) y (P11) respectivamente.

## **2.3. Esquema metodológico**

### **2.3.1. Parámetros fisicoquímicos de los sedimentos**

#### *2.3.1.1. Recolección, transporte y pretratamiento de muestras*

En el muestreo se realizaron dos tipos de recolección de muestras, compuestas y de profundidad. Las primeras fueron tomadas para efectuar análisis de carácter fisicoquímico; las segundas con el objetivo de analizar en única instancia la concentración de metales pesados a diferente profundidad.

Para las muestras compuestas de mangle se recolectó aproximadamente 500 gr de sedimento a 30 cm de profundidad con la ayuda de un barreno de un solo cuerpo, las muestras se almacenaron en fundas plásticas herméticas debidamente etiquetadas, haciendo uso de la metodología expuesta por (Herranz, M; Bolivar, J; Pérez, E Liger, E; Payeras, J; Pinilla, 2007, p.26).

El muestreo de profundidad se realizó mediante la introducción de un tubo de PVC de 30 cm de largo y 1” de espesor en el sedimento hasta rebosarlo, posteriormente se rotuló la parte superior e inferior del tubo y se selló con la ayuda de papel film y cinta de embalaje para de este modo conservar la estructura física de la muestra.

Las muestras recolectadas *in situ* se refrigeraron en una nevera portátil para conservarlas a 4°C, para su posterior transporte y almacenamiento al laboratorio. En laboratorio las muestras, compuestas y de profundidad, fueron secadas a temperatura ambiente en un espacio cerrado evitando la exposición directa al sol y otros factores que puedan alterar su calidad. Se separó la materia orgánica manualmente para retirar raíces y restos de moluscos. Finalmente se realizó la molienda y tamizaje con tamices de 2 mm y 180 µm.

### **2.3.2. Caracterización de sedimentos**

#### *2.3.2.1. Caracterización fisicoquímica de sedimentos*

La muestra tamizada se analizó con los siguientes parámetros fisicoquímicos según la metodología planteada por el Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1999, pp.225-232).

- El potencial hidrogeno (pH) fue medido con la ayuda de un potenciómetro marca HANNA, con la previa preparación de las muestras para la obtención correcta de los valores medidos.
- La conductividad eléctrica fue medida mediante un conductímetro KGD003 con las muestras preparadas para la medición.
- La textura fue determinada con el método organoléptico el cual fue realizado según las instrucciones de la metodología expuesta por (FAO, 2014, p.1).
- Para la determinación de color se utilizó el manual de Munsell y aproximadamente 1cm<sup>3</sup> de muestra, se realizó la comparación con el cuadro de colores (Daniel, 2002, p.619).
- La densidad real de los sedimentos se realizó con la ayuda de un Picnómetro de densidad.
- Para la determinación del porcentaje de materia orgánica se realizó el método de Ignición (LOI), con 5g de muestra de cada uno de los puntos muestreados.
- El porcentaje de carbono orgánico fue calculado a partir del porcentaje de materia orgánica encontrado.
- Los porcentajes de materia y carbono orgánico totales fueron medidos mediante la utilización del equipo FLASH 2000 basado en la metodología de DUMAS.

#### *2.3.2.2. Determinación de metales pesados en las muestras de sedimento*

Los metales analizados en las muestras fueron: Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Mercurio (Hg), Hierro (Fe) y Arsénico (As), en función de las siguientes profundidades: 1-5 cm; 5-10 cm; 10-15 cm; 15-20 cm. Las muestras fueron analizadas mediante una digestión acida con HNO<sub>3</sub>, almacenadas en frascos estériles debidamente rotulados, para posterior análisis con el equipo de espectrofotometría de absorción atómica Thermo Scientific Ice 3000. En lo que respecta a As, Cd

y Fe fueron la técnica usada corresponde a la llama de acetileno; mientras que el Hg mediante generación de hidruros. Los estándares de calibración se prepararon a partir de sales de alta calidad.

### 2.3.2.3. Textura

Para obtener los porcentajes de arenas, limos y arcillas en el sedimento se determinaron por zona a través de una muestra compuesta, se utilizó el método abreviado de Bouyoucos (Day, 1965, pp.545-567).

### 2.3.3. Cálculo de los índices de contaminación: Factor de enriquecimiento, Índice de Geo acumulación e índice de carga contaminante.

Se calcularon el índice de factor de enriquecimiento, el índice de Geo acumulación y el índice de carga contaminante mediante las ecuaciones: Ec 1, Ec 2 y Ec 3, a partir de valores de fondo o referencia, y las concentraciones de metales en sedimento contaminado en función de la profundidad que se muestran en la tabla 1-2.

**Tabla 1-2:** Valores utilizados para los índices

Zonas	Puntos	Metales					
		Profundidad	Cd	Pb	As	Hg	Fe
-	-	Valores de referencia*	0,3	20	13	0,4	47200
Río 7	P1	0 a 5	(-)	(-)	40,8819	0,5657	456,95
Río 7	P1	5 a 10	(-)	(-)	36,999	0,4414	507,28
Río 7	P1	10 a 15	(-)	(-)	56,03	0,5296	476,41
Río 7	P1	15 a 20	(-)	(-)	21,0553	0,4056	304,96
Zona 1	P2	0 a 5	(-)	(-)	5,6092	0,3874	272,88
Zona 1	P2	5 a 10	(-)	(-)	3,936	(-)	158,24
Zona 1	P2	10 a 15	(-)	(-)	14,5874	(-)	213,59
Zona 1	P2	15 a 20	(-)	(-)	3,936	(-)	194,35
Zona 1	P3	0 a 5	(-)	(-)	9,7751	0,3518	237,57
Zona 1	P3	5 a 10	(-)	(-)	3,6998	(-)	195,09
Zona 1	P3	10 a 15	(-)	(-)	5,7241	(-)	192,27
Zona 1	P3	15 a 20	(-)	(-)	3,3738	0,093	149,45
Zona 1	P4	0 a 5	(-)	(-)	2,6567	(-)	210,94

Zona 1	P4	5 a 10	(-)	(-)	2,7176	(-)	131,19
Zona 1	P4	10 a 15	(-)	(-)	18,8198	(-)	104,9
Zona 1	P4	15 a 20	(-)	(-)	1,423	(-)	419,82
Zona 2	P5	0 a 5	(-)	(-)	20,1158	(-)	286,6912
Zona 2	P5	5 a 10	(-)	(-)	15,4899	(-)	396,3431
Zona 2	P5	10 a 15	(-)	(-)	16,943	(-)	278,9833
Zona 2	P5	15 a 20	(-)	(-)	10,7376	(-)	317,1681
Zona 2	P6	0 a 5	(-)	(-)	14,4142	(-)	271,66
Zona 2	P6	5 a 10	(-)	(-)	13,29077	(-)	214,3
Zona 2	P6	10 a 15	(-)	(-)	21,8975	2,926	280,47
Zona 2	P6	15 a 20	(-)	(-)	13,6538	(-)	197,7
Zona 2	P7	0 a 5	(-)	(-)	72,4393	(-)	231,92
Zona 2	P7	5 a 10	(-)	(-)	71,1197	(-)	206,74
Zona 2	P7	10 a 15	(-)	(-)	99,7424	(-)	205,57
Zona 2	P7	15 a 20	(-)	(-)	53,7533	(-)	139,47
Zona 3	P8	0 a 5	(-)	(-)	9,3193	(-)	313,02
Zona 3	P8	5 a 10	(-)	(-)	9,4872	(-)	183,8
Zona 3	P8	10 a 15	(-)	(-)	13,7173	(-)	186,57
Zona 3	P8	15 a 20	(-)	(-)	8,3784	(-)	396,73
Zona 3	P9	0 a 5	(-)	(-)	7,356	(-)	285,37
Zona 3	P9	5 a 10	(-)	(-)	7,154	(-)	198,25
Zona 3	P9	10 a 15	(-)	(-)	10,256	(-)	185,63
Zona 3	P9	15 a 20	(-)	(-)	7,564	(-)	295,32
Zona 3	P10	0 a 5	(-)	(-)	5,4568	(-)	232,14
Zona 3	P10	5 a 10	(-)	(-)	5,3165	0,1854	202,89
Zona 3	P10	10 a 15	(-)	(-)	7,1331	0,8528	180,41
Zona 3	P10	15 a 20	(-)	(-)	5,6088	(-)	234,68
Río Chaguana	P11	0 a 5	(-)	(-)	2,7888	(-)	207,1711
Río Chaguana	P11	5 a 10	(-)	(-)	2,7888	(-)	243,7869
Río Chaguana	P11	10 a 15	(-)	(-)	7,0056	(-)	204,1374
Río Chaguana	P11	15 a 20	(-)	(-)	1,038	(-)	168,8173

Fuente: Turekian (1961)

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

\* valores de referencia propuesto (-): Debajo del límite de detección: Cd < 1 mg/Kg; Pb < 15 mg/Kg; Hg < 0.0045 mg/Kg

#### 2.3.4. Valores utilizados para cálculo del índice de riesgo ecológico (IR)

La evaluación del índice de riesgo ecológico (IR) se realizó a partir de la ecuación Ec.5 que se calcula a partir de: los valores  $E_i$  (Ec.6) y el factor de contaminación FC (Ec.7).



**Tabla 2-2:** Valores de entrada para el factor de respuesta tóxico ( $T_i$ ) y para el cálculo de  $E_i$  de la ecuación Ec.6

<b>Metal</b>	<b>(<math>T_i</math>)</b> <b>Factor de respuesta tóxico</b> <b>(adimensional)</b>	<b>Mx</b> <b>(Concentraciones de metales</b> <b>en sedimento)</b>	<b>Mb</b> <b>(Valores de</b> <b>referencia)</b>
<b>As</b>	10	Valores de la tabla 2-2	13
<b>Cd</b>	30		0.3
<b>Hg</b>	40		20
<b>Pb</b>	5		0.4

**Fuente:** (Hakanson, 1980b)

**Realizado por:** (Aldás Pablo., 2023).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización de parámetros fisicoquímicos de sedimentos en el estuario la Puntilla

El Oro es una de las principales provincias productoras de camarón, representando alrededor del 15% de la producción total del país. Como cualquier actividad económica, la producción de camarones tiene impactos ambientales significativos, incluyendo la destrucción de manglares, bosques de protección costera, contaminación del agua entre otros problemas (Yelena, 2019, pp.39-44). Adicional a ello, en la provincia del Oro se registran 57761 hectáreas pertenecientes a cultivos permanentes, de los cuales 42202 hectáreas están destinadas a la producción de banano, el 48% de esta producción se concentra en el cantón el Guabo lo que se traduce en una cantidad aproximada de 220 predios bananeros (registrados) (MAG, 2022). Mantener la producción de banano involucra la utilización de fertilizantes, pesticidas y herbicidas.

Por otro lado, en la provincia del Azuay y El Oro se registran 237 concesiones de pequeña minería metálica, de las cuales 83 se encuentra en el Azuay y 157 en El Oro. Estas concesiones tienen los permisos ambientales de operación, el problema recae en que su capacidad de pretratamiento para aguas residuales resultantes de los sedimentadores solo se abastece para el 10% de la producción total, expulsando de manera directa a las quebradas el 90% del desecho restante, el cual es rico en Hg, As y Cu (MAE, 2020, pp.33-88). Sumado a esto la presencia de minería ilegal que integran procesos más rudimentarios y dañinos para el ambiente. La disposición final junto con un mal manejo de estos productos químicos y desechos mineros conducen a una problemática ambiental, debido a que las aguas de regadío provenientes de las bananeras, camaroneras y los afluentes contaminados aguas arriba por la minería tienen como destino final los cauces del Río Siete y Chaguana que desembocan en el estuario de mangle “La Puntilla” (MAE, 2020, pp.33-88)

La forma de los manglares se rige a una combinación de factores ecológicos, geomorfológicos y climáticos. En el estuario se recolectaron un total de 14 muestras para analizar los parámetros físico – químicos se evidencian en la tabla 1-3. Por otro lado, se realizaron muestras compuestas de las 5 zonas, para determinados parámetros fisicoquímicos como carbono y nitrógeno totales; los cuales se muestran en la tabla 2-3.

**Tabla 1-3:** Valores de los parámetros fisicoquímicos de sedimento

Zona	Punto	Latitud	Longitud	pH	Conductividad eléctrica (µs/cm)	M.O (%)	C.O (%)	Densidad real (mg/mL)
Río 7	P1	627041	9662664	6,82	20,9	2,58	1,49	2,18
Zona 1	P2	626510	9662470	7,64	22	5,82	3,37	2,1
	P3	626397	9662483	7,46	23,5	3,56	2,07	2,19
	P4	626348	9662602	7,97	15,53	6,1	3,54	2,22
	P5	626186	9662587	7,82	11,08	3,25	1,88	2,21
Zona 2	P6	625789	9661657	7,81	18,11	3,5	2,03	2,13
	P7	625660	9661638	7,62	26,1	6,98	4,05	2,16
	P8	625709	9661753	7,56	25,8	4,28	2,48	2,07
	P9	625578	9661740	7,21	23,9	7,32	4,25	2,07
Zona 3	P10	624869	9660464	7,98	15,92	3,91	2,27	2,19
	P11	624796	9660786	7,72	13,59	3,6	2,09	2,21
	P12	624508	9660818	7,8	14,42	4,67	2,71	2,31
	P13	624327	9660959	7,64	22	4,91	2,85	2,31
Río Chaguana	P14	625234	9659800	7,93	13,79	2,79	1,62	2,14

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

\* pH: Potencial hidrogeno; M.O: Materia Orgánica; C.O: Carbono Orgánico

**Tabla 2-3:** Determinación de Ct y Nt por zonas

Punto	Carbono total (%)	Nitrógeno total (%)
Zona 1	2,07	0,17
P (11)	1,17	0,09
Zona 2	2,49	0,09
Zona 3	1,91	0,16
P (1)	0,77	0,19

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

El promedio de pH de los puntos analizados se encuentra en un rango neutro con una tendencia ligeramente alcalina con un valor promedio de  $7.64 \pm 0.3$ . Del conjunto de datos analizados el valor más bajo, corresponde al punto P1, ubicado en la desembocadura del río Siete, con un valor de 6.82 considerado ligeramente ácido; mientras que el valor más alto corresponde al punto 9, ubicado en la desembocadura del río Chaguana, con un valor igual a 7.98 considerado ligeramente alcalino. Este comportamiento casi homogéneo se debe a que el pH no aumenta ni disminuye a medida que existe un alejamiento a lo largo de la costa (Joshi y Ghose, 2003, pp.197-206), como se puede observar en las Zonas 1, 2 y 3, con valores que van desde 7.21 a 7.93, estos resultados son similares a los reportados por otros autores en ecosistemas de manglar similares (Joshi y Ghose, 2003, pp.197-206), (Sah, K.D., 1985, pp.372-374) y (Pal, D., A.K. Das, 1996, pp.71-78); sin embargo, esta tendencia

de neutralidad varia ligeramente en los dos puntos ubicados en las desembocaduras de agua dulce del río Chaguana y río Siete y, en el primer caso, un curso de agua dulce que al entrar en el Océano forma un ecosistema idóneo para el crecimiento y reproducción de vida acuática, lugar de recolección y pesca de especies marinas. En el segundo caso, el punto de análisis corresponde a la desembocadura del río Siete (P1), curso de agua dulce influenciado por actividades antrópicas, esto podría ser la razón por la cual el valor de pH encontrado fue medianamente ácido, diferente al resto de puntos muestreados, esto se podría deber a la presencia de bananeras y otras industrias agrícolas que utilizan fertilizantes amoniacales como el fosfato di amónico, según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2022), este tipo de productos comerciales son los de mayor demanda en la provincia y por ende en los que se ha focalizado el subsidio (MAG, 2022); así como también a las posibles descargas mineras aguas arriba.

En lo que respecta a la conductividad, presenta un promedio de  $19.05 \pm 5$ , este valor es relativamente homogéneo, considerando que los puntos analizados tienen características similares. La salinidad presente en los manglares es resultado del equilibrio dinámico que varía en relación con fenómenos atmosféricos que controlan la circulación de las masas de agua tanto en el mar como en los cuerpos de agua dulce (Botté, Freije y Marcovecchio, 2010, pp.371-388).

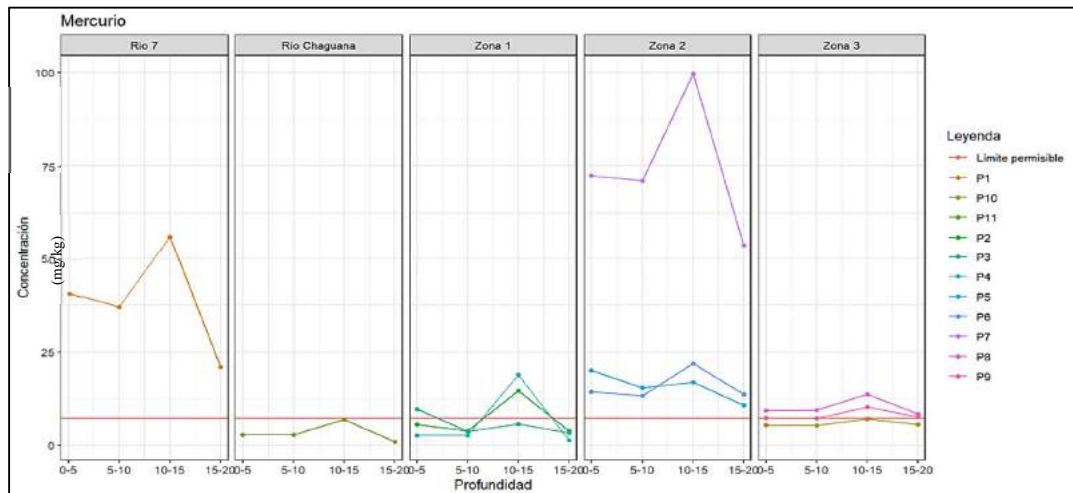


**Ilustración 1-3:** Análisis de correlación de los parámetros físico – químico en sedimentos.

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

La Ilustración 1-3 presenta un análisis de correlación de los parámetros físico – químicos mostrados en la tabla 1-3 y la concentración de cada metal en función de sus profundidades anexo

G, usando como método la correlación de Spearman ( $r$ ). A partir de este análisis, se observa la tendencia de correlación de la MO, CO y arcillas, que son positivos y estadísticamente significativos, con correlaciones muy parecidos, a las obtenidas en ambientes similares por (León, Méndez y Rubio, 2004, pp.585-602). El promedio de carbono orgánico en las zonas 1, 2 y 3 fue de 2.79 (%)  $\pm 0.8$ , este valor es mayor en comparación a los dos puntos de las desembocaduras del río 7 (1.49%) y río Chaguana (1.62%). La razón de este fenómeno debería radicar en el hecho que en los sedimentos de mangle los suelos más finos, en este caso las arcillas están en la capacidad de acumular y absorber materia orgánica en una cantidad superior que el resto de los suelos, esto, además, influye en la dinámica de la interfaz agua - sedimentos (Bailey 1968, pp.47-56). Por otro lado, la zona en estudio prevalece la presencia de bosques de *Rhizophora mangle* sp. (mangle rojo) (Velásquez-López et al. 2020, pp.81-100). En el manglar se encuentran condiciones favorables para retener mayor sedimento y de producir mayor carbono autóctono (Alongi, D. M., & Tirendi, 1989, pp.133-144). La presencia de este tipo bosques tiene la tasa de descomposición de hojarasca más baja en relación con otros sistemas, que presentan diferentes tipos de especies de mangle, por lo que, la inmovilización de nitrógeno es más alta. Adicional a ello los suelos de manglar pasan la mayor parte del tiempo cubiertos por agua, esto provoca que los sedimentos experimenten un proceso de anaerobiosis, activando a las bacterias anaerobias, estas tardan mucho más tiempo en descomponer la materia orgánica, lo que involucra mayor presencia de materia orgánica en los suelos y menor cantidad nitrógeno (Gutiérrez, Jesús y López, 2002, pp.115-128) como se puede observar en la Ilustración 2-3.



**Ilustración 2-3:** Concentración de Arsénico (As) y mercurio (Hg) en función de la profundidad

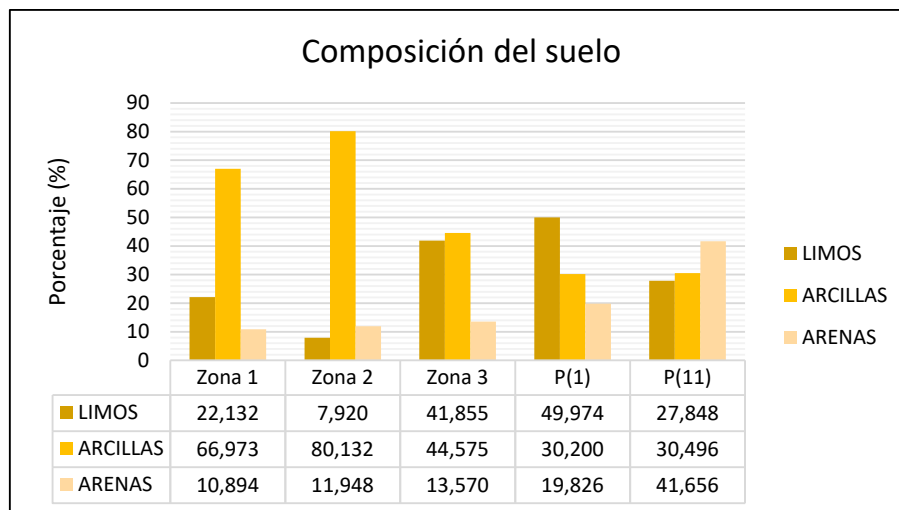
Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

La Ilustración 2-3, muestra las concentraciones de metales pesados hallados en sedimento como

son, Arsénico (As) mg/kg y Mercurio (Hg) mg/kg de cada punto, a distintas profundidades. La línea roja horizontal señala el límite máximo permisible en sedimentos de zonas marinas, con los siguientes valores, para el As 7.24 mg/kg, y 0.13 para Hg, estos fueron tomados de la Guía Canadiense para la Calidad de Sedimentos Marinos («Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life», n.d., p.1), en virtud que la legislación ecuatoriana solo establece parámetros ambientales para calidad de agua y suelo, mas no para sedimentos marinos (Dominguez-Granda, Goethals y Pauw 2005, p.1).

El As supera los límites permisibles, en las tres zonas de estudio y en el punto correspondiente en el río Siete como se puede observar en la Ilustración 2-3. En el río Siete el valor más alto de concentración de As fue de 56.03 mg/kg, y el valor más bajo de 21.05 mg/kg, por otro lado, en esta zona el Hg tiene valores inferiores a 1 mg/kg, que sobrepasan el límite permisible. La notable presencia de metales pesados en esta zona podría deberse a dos factores los cuales fueron mencionados por (Carmona, 2021, pp.44-53), en un estudio realizado en la desembocadura del río Siete, en primera instancia debido a la minería que se desarrolla aguas arriba en donde se dan procesos de cianuración lo cual está relacionado con la presencia de arsénico en sedimentos (Espín, Jarrín y Escobar, 2017, p.11), adicional a ello, anualmente se descargan 10000 toneladas de relave proveniente de los procesos mineros En segunda instancia, la presencia de bananeras e industrias agrícolas, quienes carecen de capacitación técnica para el tratamiento y disposición final de fertilizantes. Por tal razón sus aguas residuales y de regadío son vertidas directamente a los afluentes, aportando con metales pesados al medio (Carmona, 2021, pp.54-73). Los valores de concentraciones de As, encontrados en la Zona 1, se encuentran muy relacionados a los hallados en el río Siete debido a que este afluente cubre directamente esta zona de manglar, consecuentemente, existe una pequeña reducción en las concentraciones encontradas, como consecuencia del hidro dinamismo de las dos masas de agua, tanto dulce como salada (Herrero-Barrencia, Abreu y Haroun, 2017, pp.24-57).

Los puntos críticos, es decir, aquellos que presentan las concentraciones de As y Hg más elevadas se encuentra en la zona 2. En lo que respecta al As, en el punto (P6) los valores oscilan entre 71.11 mg/kg y 99.74 mg/kg, y, por otro lado, el mercurio presenta su valor pico en el punto (P5) con un valor igual a de 2.92 mg/kg. Para ambos casos la profundidad corresponde a 10 – 15 cm.



**Gráfico 1-3:** Porcentajes de limos, arcillas y arenas en las zonas de estudio

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

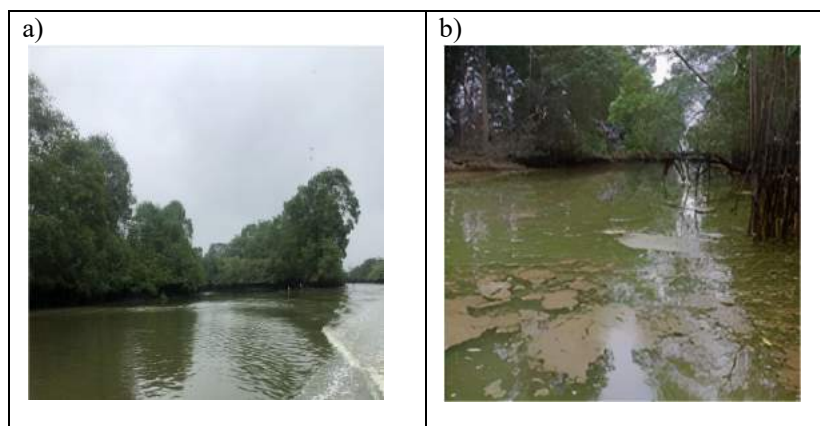
El gráfico 1-3 describe el porcentaje de limos, arcillas y arenas en cada una de las zonas de estudio, considerando que el tamaño de las partículas decrecen de la siguiente manera arena > limo > arcilla. La relación que existe entre el tamaño de la partícula y la capacidad de retener concentraciones de As es controversial. Por una parte, se señala que para el As existe una fuerte relación entre tamaño de sedimento y su concentración, es decir, la mayor presencia de este metal tiene una fuerte correlación con el tamaño de partículas, siendo esta última variable importante en los procesos de captura de metales pesados, debido a que los iones se adsorben en la superficie de las arcillas. (Harbison, 1986, pp.246-250), (Parra y Espinosa, 2008, pp.95-110); por otra parte, existe evidencia científica donde se señala que no existen correlaciones entre el As y las propiedades físicas del suelo, y hace énfasis más bien en las fuentes antropogénicas que son causa de contaminación (Mao et al., 2022, pp.1-15). En el caso de estudio, tal como muestra la Ilustración 1-3 no existe correlación entre los parámetros físico - químicos y As, por tal razón, los valores encontrados podrían tener como fuente las actividades humanas producidas en las cercanías del estuario.

En lo que respecta al río Chaguana, que corresponde al punto (P11) en la Ilustración 2-3, el As refleja valores relativamente bajos con respecto a la norma establecida. A pesar de este comportamiento, la concentración más alta fue de 7 mg/kg, que bordea el límite permisible que es de 7.25 mg/Kg, para una profundidad de 10 a 15 cm, esta anomalía podría deberse algún tipo de contaminación puntual producto de la presencia de pesticidas encontrados en sedimentos como lo reportado en un estudio realizado en la zona de estudio (Dominguez-Granda, Goethals y Pauw 2005, p.1). En lo que respecta al Hg, no se reportan concentraciones relevantes. Por otro lado, en la zona

3 perteneciente a la desembocadura del río Chaguana, los valores de concentración de As extremos son 10.25 mg/kg y 5.31 mg/kg, que corresponden a los puntos (P9) y (P10) respectivamente, para una profundidad de 10 a 15 cm. En el caso del Hg, solo en el punto (P10) se relevó valores de concentración aun si son fueron inferiores a 1 mg/kg. De lo antes mencionado, se puede observar que existe un incremento de la concentración, tanto del As como del Hg, a medida que el agua dulce entra al mar, que sigue la misma tendencia que el estudio realizado por (Cogua, Campos-Campos y Duque, 2012, pp.267-285). Este comportamiento se podría asociar al incremento de la salinidad debido a su cercanía con la costa, de igual manera otros asocian el incremento de las concentraciones de As a la salinidad proveniente del mar (Lillo, n.d., p.1) y (Pérez-Carrera & Fernández Cirelli, 2013, pp.19-28).

Otro aspecto importante considerado en este estudio es el análisis del comportamiento de los metales pesados en función de la profundidad, como se muestra en la Ilustración 2-3. Las concentraciones de metales pesados según la profundidad están regidos a las propiedades físicas y químicas de los sedimentos. Adicionalmente, la acumulación de metales se debe a diversos factores, como el entorno geológico, los aportes antropogénicos, el estado hidrológico de los ríos o mares que influyan en la zona (Yuan et al., 2014, pp.52-60). En este contexto, de manera particular, se puede evidenciar que los metales pesados, para la zona 2, tanto para el As como para el Hg, presentan una mayor acumulación a una profundidad de 10-15 cm, este comportamiento es muy similar por Parra y Espinoza (Parra y Espinosa, 2008, pp.95-110) y (Mao et al., 2022, pp.1-15). Este fenómeno podría ser causado por el hecho que la zona 2 no cuenta con una entrada directa de un cuerpo de agua dulce, y está cubierta en su totalidad por la especie *rizhopora mangle*, especie que tiene una función de trampas de sedimentos suspendidos. Las raíces de estos árboles reducen el efecto físico de perturbación causado por las corrientes marinas y de agua dulce, lo que permite un alto índice de sedimentación y por ende acumulación de metales y macronutrientes (Parra y Espinosa, 2008, pp.95-110); sin embargo, para poder determinar el real estado de contaminación de este frágil ecosistema deben realizarse mayores estudios en periodos de tiempo prolongados evaluando condiciones espaciales y temporales.





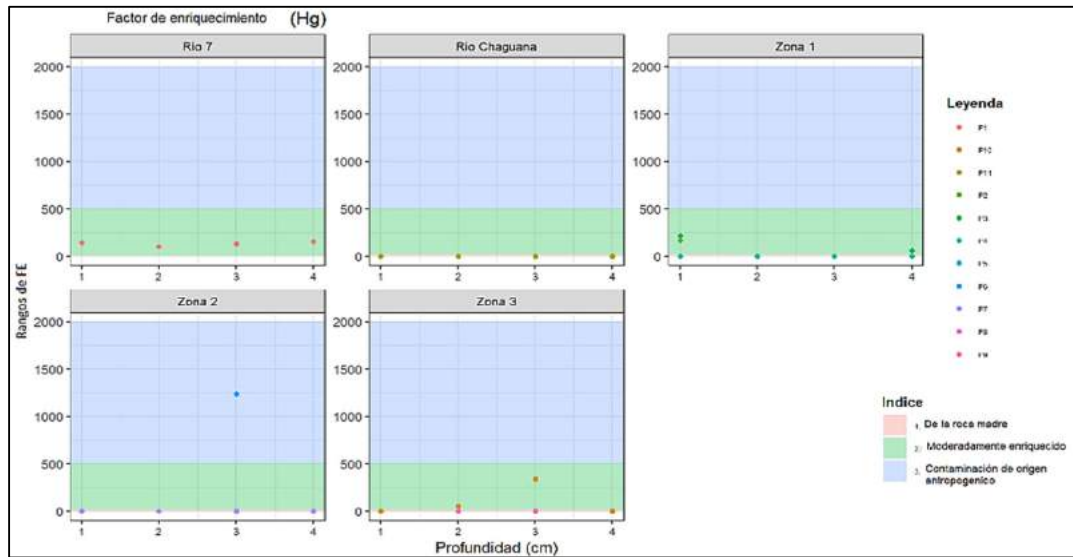
**Ilustración 3-3:** Fotografías de los Ríos: a) Chaguana y b) Río Siete

**Fuente:** (Velásquez-López et al. 2020, p.81)

**Realizado por:** (Aldás Pablo., 2023).

La Ilustración 3-3 muestra las fotografías del río Chaguana (a) y río Siete (b). Como se observa en la Ilustración de la izquierda el río Chaguana, en el cual se encuentra ubicado el punto (P11), goza de buena calidad, como también lo señalan (Dominguez-Granda, Goethals y Pauw 2005, p.1), es decir, es un río vivo que alberga algunos tipos de especies que se capturan para la subsistencia de los pescadores artesanales siendo para muchos de ellos su única forma de subsistencia. La Ilustración de la derecha que corresponde al río Siete, donde se ubica el punto 1, es un río con fuertes procesos de eutrofización que no permite el desarrollo de vida, de hecho, de los análisis realizados las concentraciones de As sobrepasan de forma significativa a la norma establecida por la Guía Canadiense para la calidad de sedimentos (Hardstedt y Laumond, n.d., p.1).

Dentro de este estudio, también se consideró la estimación de índices de contaminación, como son: índice de factor de enriquecimiento; índice de geo acumulación, índice de carga contaminante e índice de riesgo ecológico, que aportan mayor criterio a la hora de atribuir un estado situacional de un determinado sitio potencialmente contaminado, al ser un instrumento poderoso en la caracterización de la calidad de sedimentos. Los resultados de la evaluación de los índices se reportan en el anexo H.



**Ilustración 4-3:** Índice de factor de enriquecimiento para Hg

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

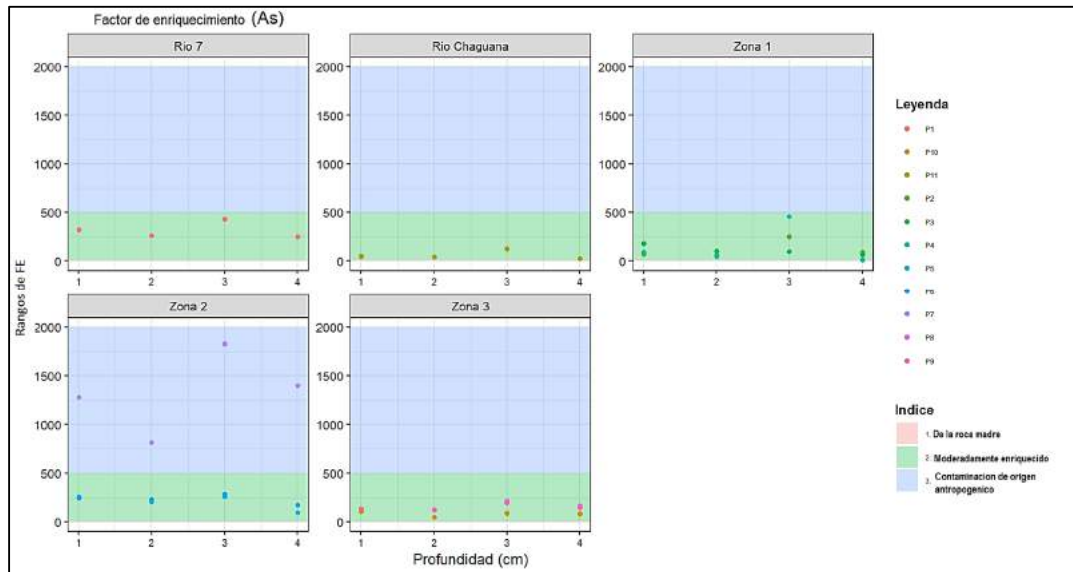
La Ilustración 4-3 y la Ilustración 5-3 muestran los rangos de evaluación del factor de enriquecimiento para el Hg y para el As, en función de la profundidad respectivamente. Los gráficos están divididos en tres franjas que representan el factor de enriquecimiento *in situ* a partir de los valores umbrales mostrados en la tabla 2-1, aplicado a las 3 zonas de estudio y los dos puntos ubicados en desembocaduras de los dos ríos. En esta Ilustración 4-3 se observa que los valores que presentan un “Enriquecimiento moderado” en un rango de 10 y 500 son:

- P1 para todas sus profundidades;
- P2 para la profundidad de 0 a 5 cm;
- P3 en la profundidad de 0 a 5 y 15 a 20 cm;
- P10 en las profundidades de 5 a 10 y 10 a 15 cm

Por otro lado, en la zona 2, se registra un valor de “contaminación de origen antropogénico” con un valor superior a 1200 siendo este:

- P6 en una profundidad de 10 a 15 cm.

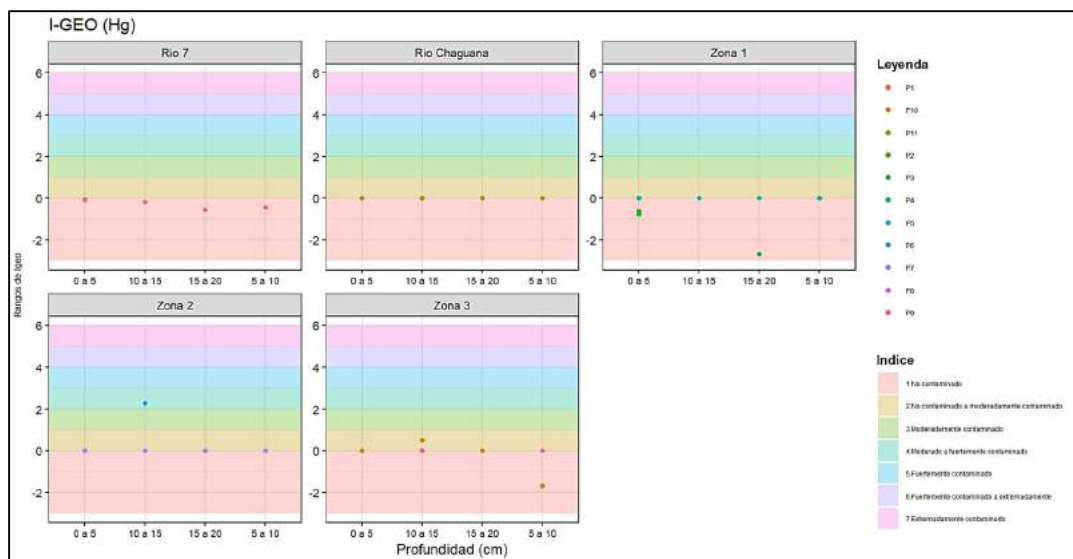
Para el resto de los puntos y profundidades los valores resultantes de la evaluación son inferiores a 1, lo que quiere decir que no hay enriquecimiento de fuentes externas o antropogénicas.



**Ilustración 5-3:** Índice de factor de enriquecimiento para el As

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

El resultado de la evaluación del As representado en la Ilustración 5-3, muestra que para el punto (P7), en sus 4 profundidades, se obtuvieron valores superiores a 500, lo cual evidencia “Contaminación de origen antropogénico”. En el resto de los puntos y profundidades la evaluación los valores estaban dentro del rango de 10 a 500, es decir, los sedimentos se encuentran “Moderadamente enriquecidos”.



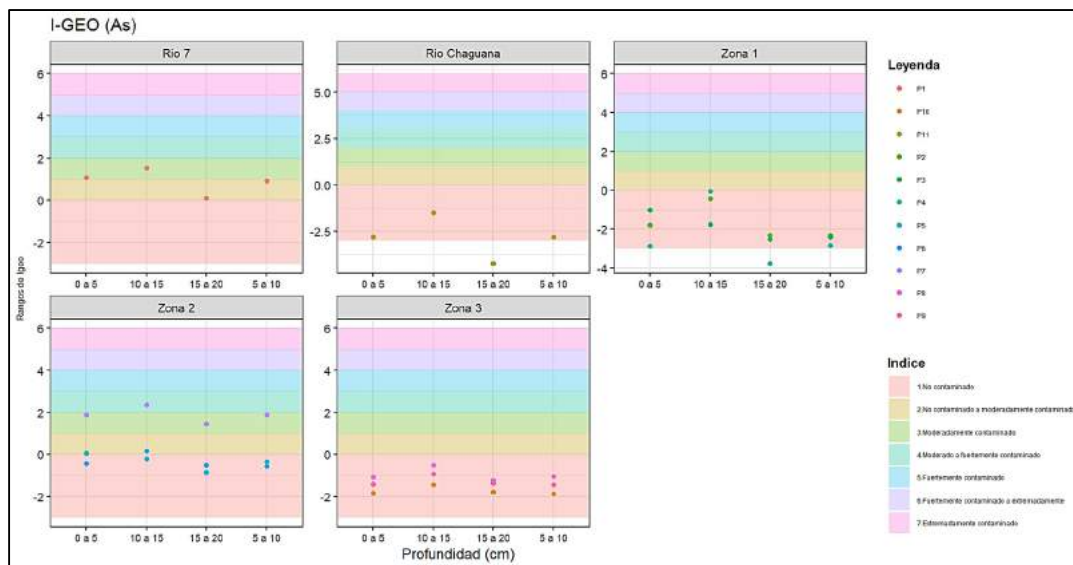
**Ilustración 6-3:** Índice de geo acumulación para el Hg

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

La Ilustración 5-3 y la Ilustración 6-3, muestran los rangos de evaluación del índice de geo acumulación para el Hg y para el As, en función de la profundidad respectivamente. Los gráficos están dividido en siete franjas, índices o categorías, que representan el factor de geo acumulación *in situ* a partir de los valores umbrales mostrados en la tabla 3-1, aplicado a las 3 zonas de estudio y los dos puntos ubicados en desembocaduras de los dos ríos.

En la Ilustración 6-3 se muestran los valores obtenidos para el Hg, a partir de la evaluación del índice de geo acumulación en función de las profundidades de este análisis se observa que:

- El punto (P6) a una profundidad de 10 a 15 cm tiene un  $I_{geo} > 2$  lo cual indica presencia de contaminación de “Moderado a fuertemente contaminado”, adicionalmente, en este punto el EF describe una fuerte contaminación de origen antropogénico.
- En los puntos restantes en sus diversas profundidades se reportan valores de 0 e  $I_{geo} < 0$ , es decir “No contaminado”, adicional a ello, esto indica que las concentraciones de estos elementos se encuentran por debajo de la media registrada para los valores de referencia citados en la tabla 2-2.



**Ilustración 7-3:** Índice de geo acumulación para el As

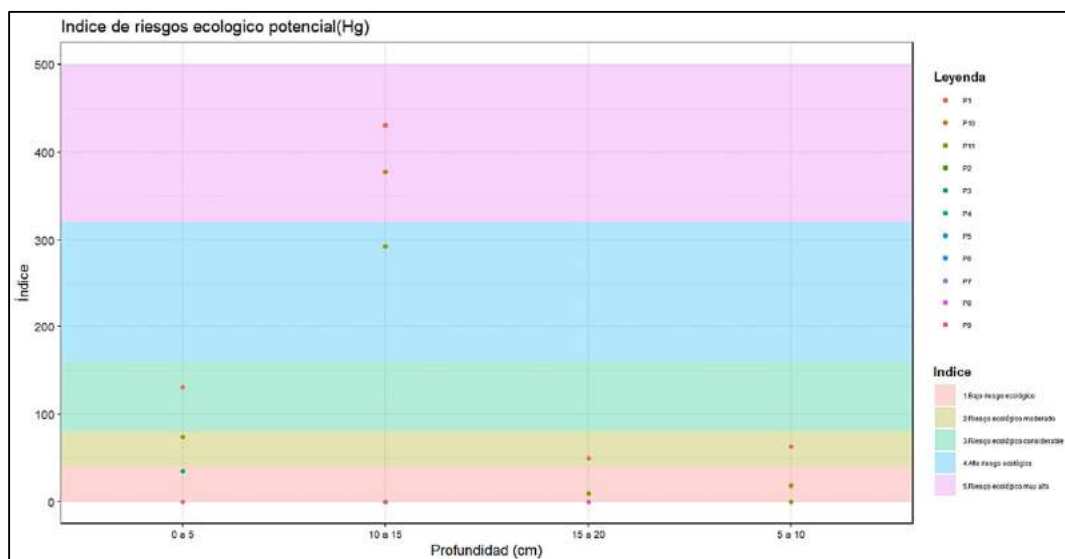
Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

Por otra parte, la Ilustración 7-3, muestra los valores obtenidos para el As, a partir de la evaluación del índice de geo acumulación en función de las profundidades de este análisis se observa que:

- El punto (P1) en las profundidades de 0 a 5 cm y de 10 a 15 cm se reporta un  $I_{geo} > 1$ , es decir, “moderadamente contaminado”, para las profundidades de 5-10 cm y de 15 – 20 cm

el índice reporta un  $I_{geo} < 1$ , es decir, “no contaminado a moderadamente contaminado”.

- El punto (P7), para todas las profundidades, el índice presenta un valor  $I_{geo} > 1$ , lo cual señala una “contaminación moderada”.
- En el resto de las zonas y puntos los valores  $I_{geo}$  son inferiores a 0, lo cual indica que no hay contaminación.



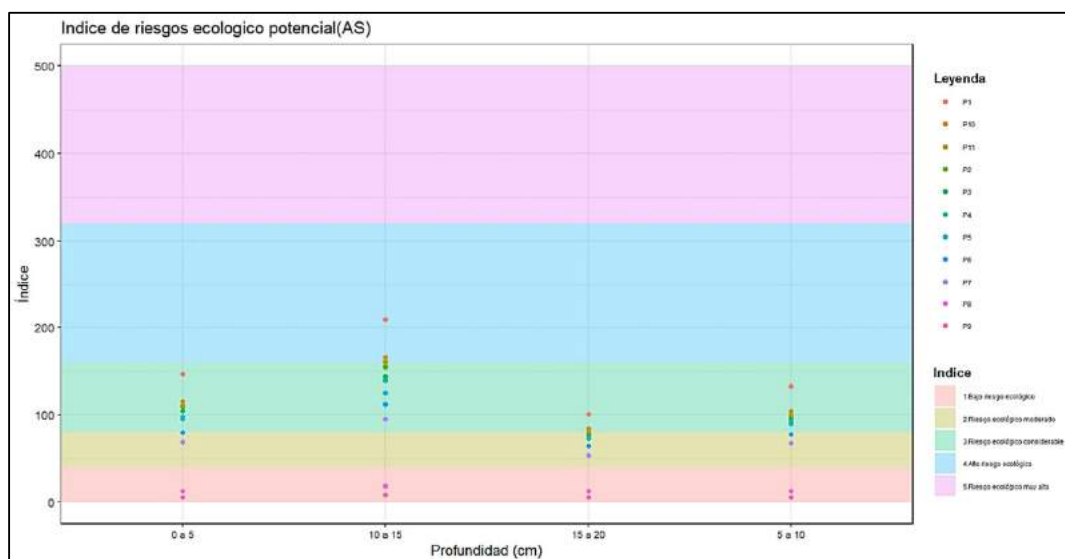
**Ilustración 8-3:** Índice de riesgo ecológico potencial para el Hg

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

La Ilustración 9-3 y Ilustración 10-3 muestra los rangos de evaluación para el índice de riesgo ecológico potencial para los metales estudiados, en función de la profundidad. Los gráficos están dividido en cinco franjas que representan el riesgo potencial ecológico *in situ* a partir de los valores umbrales mostrados en la tabla.

En la Ilustración 8-3 se muestran los valores obtenidos para el Hg, a partir de la evaluación del índice de riesgo ecológico potencial en función de las profundidades, de este análisis se observa que:

- En el punto (P1) existe un “Riesgo ecológico moderado” en todas sus profundidades.
- El punto (P6) para la profundidad de 10 a 15 cm, presenta un “Riesgo ecológico considerable”
- El punto (P10) para la profundidad de 10 a 15 cm reporta un “Riesgo ecológico considerable”.
- Para los puntos restantes la evaluación sugiere que “No existe riesgo ecológico”



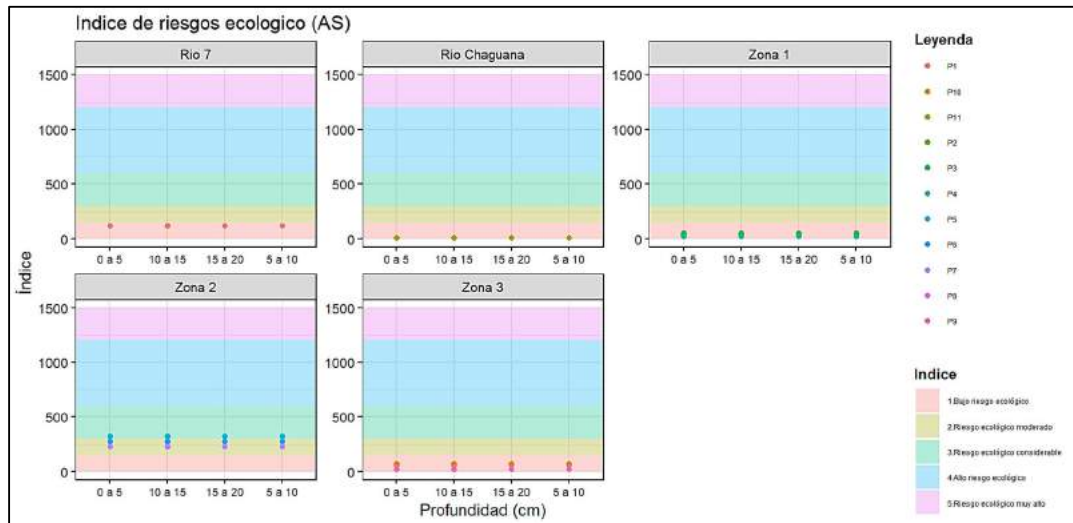
**Ilustración 9-3:** Índice de riesgo ecológico potencial para el As

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

Por otro lado, la Ilustración 10-3, muestra los valores obtenidos para el As, a partir de la evaluación del índice de riesgo ecológico potencial en función de las profundidades, de este análisis se observa que:

- El punto (P1) perteneciente al río Siete en la profundidad de 10 a 15 cm, en donde se encontró un “*Riesgo ecológico moderado*”.
- El punto (P7) para todas sus profundidades reporta un “*Riesgo ecológico moderado*”.
- Para el resto de los puntos y profundidades se obtuvo un “Bajo riesgo ecológico”.

La evaluación del índice (IR) para el As y Hg se realizó a través de una media calculada de cada una de las profundidades, para de este modo obtener un valor por punto, en virtud de lo mencionado por la metodología la cual sugiere realizar una evaluación más amplia es decir por zonas o regiones.



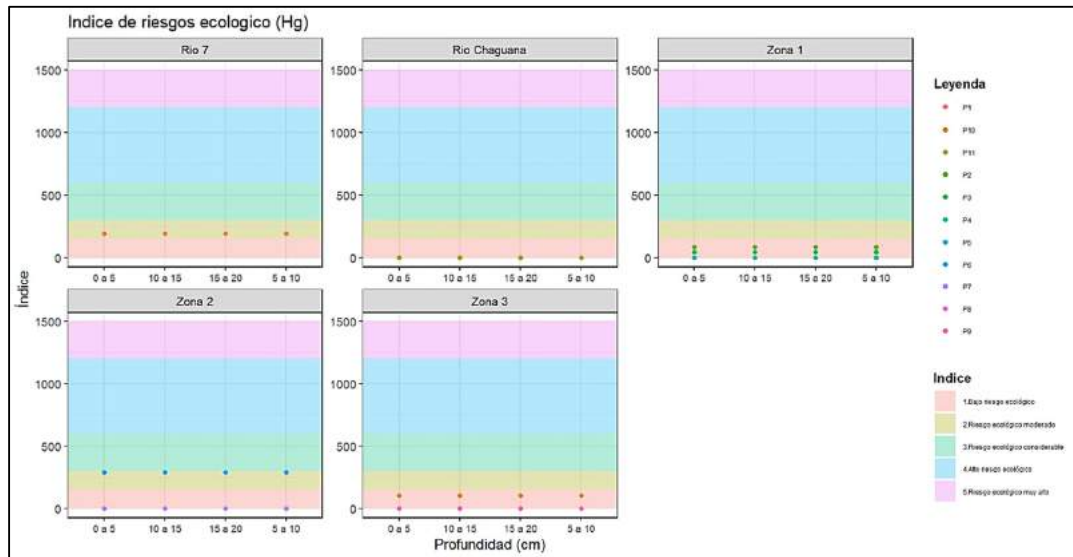
**Ilustración 10-3:** Índice de riesgo ecológico por el As

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

La Ilustración 11-3 y Ilustración 12-3, muestran los rangos de evaluación para el índice de riesgo ecológico para los metales estudiados, para cada punto. Los gráficos están dividido en cinco franjas que representan el riesgo ecológico *in situ* a partir de los valores umbrales mostrados en la tabla 4-2.

En la Ilustración 11-3 se muestran los valores obtenidos para el As, a partir de la evaluación del índice de riesgo ecológico para cada punto, de este análisis se observa que:

- El punto (P7) obtuvo un valor de 228.5 el cual se encuentra entre 150 y 300, esto nos indica que existe un “*Riesgo ecológico moderado*”
- Para el resto de los puntos los valores reportados son inferiores a 150, lo cual nos señala que existe un “*Bajo riesgo ecológico*”.



**Ilustración 11-3:** Índice de riesgo ecológico por el Hg

Realizado por: (Aldás Pablo., 2023).

Por otro lado, la Ilustración 12-3, muestra los valores obtenidos para el Hg, a partir de la evaluación del índice de riesgo ecológico potencial para cada punto, de este análisis se observa que:

- El punto (P1) reporta un valor de 194.23 es decir que existe un “*Riesgo ecológico moderado*”
- El punto (P6) tiene un valor de 292.6 esto nos señala que existe un “*Riesgo ecológico moderado*”
- El resto de los puntos son inferiores a 150 lo cual reporta un “*Bajo riesgo ecológico*”.

Mediante la evaluación del FE se puede determinar que la presencia de contaminación por As presente en el punto P7 proveniente de fuentes antropogénicas, del mismo modo para el caso del Hg en el punto P6. En el resto de las zonas el FE determinó factores de “*Enriquecimiento moderados*” como es el caso del punto P1 y la Zona 1.

A partir de lo antes expuesto, y teniendo presente que el Igeo depende de FE, se determinó que Igeo en el punto P6, tiene características de contaminación “*Moderada a fuertemente contaminada*” causada por presencia de Hg. En lo que respecta, el I-geo para el As en el punto P7 se determinó que existe “*Contaminación moderada*”. Este índice para las zonas restantes reporta una tendencia de “*Enriquecimiento moderado*”, sin embargo, se debe mencionar que existen fluctuaciones entre “*No contaminado a moderadamente contaminado*” en los puntos analizados.



A partir del análisis de EF, I-geo y IR, en concordancia con los análisis fisicoquímicos realizados en sedimentos, se observa que la zona 2 es propensa a bioacumular mayor cantidad de metales pesados. Tal zona, presenta dos puntos críticos de contaminación que son P6 y P7, los cuales se encuentran adyacentes a piscinas de cultivo de camarón como lo muestra la Ilustración 2-2. De este análisis, se podría asumir que este sitio tiene contaminación de tipo antrópico, debido al aporte de metales pesados, que provienen de varias fuentes de contaminación como: la industria camaronera, y zona mineras ubicadas aguas arriba de la desembocadura del río Siete.

## CONCLUSIONES

- Los resultados de la caracterización fisicoquímica en correlación con los metales estudiados no reportaron un nivel de significancia entre sí. Esta interpretación sugiere que los metales pesados proceden de una fuente antropogénica. Por otro lado, la abundante presencia de *Rhizophora mangle* y el alto contenido de minerales arcillosos encontrados en el sedimento se presume que son las principales causas de la acumulación de estos metales en el área de manglar, específicamente en la zona 2.
- En el área de estudio denominado estuario “la Puntilla”, a través del estudio realizado se encontró As en todas las muestras de sedimentos, mientras que el Hg solo se detectó en el 50% de las muestras analizadas, estos valores de concentración superan a los límites permisibles en todas las zonas, exceptuando el punto (P11) del río Chaguana, la acumulación de As y Hg se concentró en mayor concentración en la profundidad de 10 a 15cm.
- En el área de estudio, la evaluación de los índices FE señala que existe “*Enriquecimiento de origen antropogénico*” y contaminación “*Moderada a fuertemente contaminada*”, causada por la presencia de As y Hg en la profundidad de 10 a 15 cm, en la zona 2. Este análisis se corrobora con la evaluación de IR, que determinó que existe “*Riesgo ecologico moderado*”. Siendo esta zona la más susceptible a la acumulación de metales pesados y por ende podría presentar un riesgo ecológico considerable en un futuro, de no tomarse medidas adecuadas de monitoreo y control.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda para próximas investigaciones realizar un muestreo que abarque de manera más representativa la zona de estudio, de modo que se pueda cubrir los sesgos de muestreo generados por limitaciones de presupuesto, para corroborar la incidencia y comportamiento del As y otros metales aun no estudiados en la zona de estuario. Como también planificar monitores en las fuentes de contaminación que se encuentran dentro de la Zona de influencia, esto ayudará a conocer la procedencia de los metales pesados presentes en las muestras.
- Para estudios posteriores se recomienda basarse en la misma profundidad del muestreo para los sedimentos, debido a que es una profundidad adecuada para determinar los metales pesados provenientes de fuentes antropogénicas.
- La normativa ecuatoriana dictamina que, al existir contaminación puntual en un muestreo realizado, es argumento necesario como para determinar que el sitio está contaminado o no. Sin embargo, se recomienda interpretar las normativas en función de poder establecer criterios robustos que respalden el argumento de considerar si una zona está contaminada o no, a través de estudios multitemporales y espaciales.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACQUAVITA, A. et al.** “Heavy Metal Contents and Distribution in Coastal Sediments of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea, Italy)”. *Water, Air, & Soil Pollution* [en línea], 2010, vol. 211, no. 1, pp. 95-111. ISSN 1573-2932. DOI 10.1007/s11270-009-0284-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0284-5>.

**ALDANA GUTIÉRREZ, G. et al.** “Flujos e inventarios de carbono azul en manglares asociados a una laguna costera antropizada”. *Geofisica internacional* [en línea], 2021, vol. 60, no. 1. [Consulta: 5 febrero 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0016-71692021000100013#aff1](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-71692021000100013#aff1).

**ALONGI, D. M., & TIRENDI, F.** *Effect of exported mangrove litter on bacterial productivity and dissolved organic carbon fluxes in adjacent tropical nearshore sediments, Marine Ecology Progress Series*. S.l.: s.n. 1989.

**ANÁLISIS COMPARATIVO.** *Economía 360* [en línea], 2023. Disponible en: <https://www.economia360.org/analisis-comparativo/>.

**ANTONIO, H. & JÜRGEN, M.** CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (CR TOTAL, PB, CD) EN AGUA SUPERFICIAL Y SEDIMENTOS EN ELESTEROSALADO., (2014), pp. 1-77.

**APPLETON, J. et al.** “Assessment of mercury contamination in the Ponce Enriquez artisanal gold mining area, Ecuador”. *British Geological Survey*, no. November, (1996), pp. 10-19.

**ARGUMEDO, C.D.** “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*, vol. 68, no. 2, (2021), ISSN 0120-2952. DOI 10.15446/RFMVZ.V68N2.98025.

**ARIAS MADRID, D. et al.** “Análisis de Sedimentos Utilizando un Enfoque de la Programación Estructurada”. *Revista Tecno Lógicas* [en línea], 2012, vol. 29, pp. 49-67. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n29/n29a04.pdf>.

**BAILEY, G.W.** “Role of soils and sediment in water pollution control”. 1968.

**BOTTÉ, S., FREIJE, H. y MARCOVECCHIO, J.** “Distribution of Several Heavy Metals in Tidal Flats Sediments within Bahía Blanca Estuary (Argentina)”. *Water Air and Soil Pollution*, vol. 210, (2010), pp. 371-388. DOI 10.1007/s11270-009-0260-0.

**BRAVO-GONZÁLEZ, A.** “La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro”. *Estudios de la Gestión. Revista Internacional de Administración*, vol. 8, no. 8, (2020), pp. 215-233. DOI 10.32719/25506641.2020.8.8.

**CALVA B, L.G. y TORRES ALVARADO, R.** “Distribución de carbohidratos, carbono y nitrógeno orgánico en sedimentos de tres lagunas costeras del Golfo de México”. *Hidrobiológica* [en línea], 2000, vol. 10, no. 2. [Consulta: 5 febrero 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972000000200004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972000000200004).

**CALVA BENÍTEZ, L.G. et al.** “Contenido de carbono orgánico y características texturales de los sedimentos del sistema costero lagunar Chantuto-Panzacola, Chiapas”. *Hidrobiología* [en línea], 2006, vol. 16, no. 2. [Consulta: 5 febrero 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972006000200003&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972006000200003&script=sci_arttext).

**CANADIAN SEDIMENT QUALITY GUIDELINES FOR THE PROTECTION OF AQUATIC LIFE.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 13 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.pla.co.uk/Environment/Canadian-Sediment-Quality-Guidelines-for-the-Protection-of-Aquatic-Life>.

**CARLOS EDUARDO CARMONA CORNEJO.** “Evaluación de la calidad de los ríos de la provincia de El Oro utilizando el índice de calidad ambiental del agua”, (2021), pp. 1-104.

**CARLOS, J. et al.** “Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica”, no. November. 2019.

**CARVAJAL-OSES, M. et al.** “Manglares y sus Servicios Ecosistémicos: hacia un Desarrollo Sostenible”. *Gestión y Ambiente*, vol. 22, no. 2, (2020), pp. 277-290. ISSN 0124-177X. DOI 10.15446/ga.v22n2.80639.

**COGUA, P., CAMPOS-CAMPOS, N.H. y DUQUE, G.** “CONCENTRACIÓN DE MERCURIO TOTAL Y METILMERCURIO EN SEDIMENTO Y SESTON DE LA BAHÍA DE CARTAGENA, CARIBE COLOMBIANO”. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras - INVEMAR* [en línea], 2012, vol. 41, pp. 267-285. ISSN 0122-9761. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-97612012000200002&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612012000200002&nrm=iso).

**CRUZ L, N., ALDERETE C, A. y LAFFÓN L, S.** “Acumulación de metales pesados en sedimentos del ecosistema manglar en laguna de términos, campeche, México”. *Foresta Veracruzana* [en línea], 2013, vol. 15, no. 1, pp. 25-30. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/497/49728291003.pdf>.

**DANIEL, J.** “Introducción a la ciencia del suelo”. *Introducción a La Ciencia Del Suelo*, (2002), pp. 619.

**DAY, P.R.** “Particle Fractionation and Particle-Size Analysis”. *Methods of Soil Analysis* [en línea]. (1965), S.l.: John Wiley & Sons, Ltd, pp. 545-567. ISBN 9780891182030. Disponible en: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2134/agronmonogr9.1.c43>.

**DEL AGUILA JUÁREZ, P., LUGO DE LA FUENTE, J. y VACA PAULÍN, R.** “Determinación de factores de enriquecimiento y geo acumulación de: Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, y Zn en suelos de la cuenca alta del río Lerma”. *Ciencia Ergo Sum*, vol. 12, no. 2, (2005), pp. 155-161.

**DÍAZ GAXIOLA, J.M.** “UNA REVISIÓN SOBRE LOS MANGLARES: CARACTERÍSTICAS, PROBLEMÁTICAS Y SU MARCO JURÍDICO. IMPORTANCIA DE LOS MANGLARES, EL DAÑO DE LOS EFECTOS ANTROPOGÉNICOS Y SU MARCO JURÍDICO: CASO SISTEMA LAGUNAR DE TOPOLOBAMPO”. [en línea], 2011, vol. 7, no. 3, pp. 355-369. [Consulta: 4 febrero 2023]. Disponible en: [http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-21articulosPDF/05REVISION\\_SOBRE\\_MANGLARES\\_CHARACTERISTICAS.pdf](http://uaim.edu.mx/webraximhai/Ej-21articulosPDF/05REVISION_SOBRE_MANGLARES_CHARACTERISTICAS.pdf).

**DIRECTIVA 2005/35/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO & DEL CONSEJO.** *Diario Oficial de la Unión Europea*, vol. 30, no. 9, (2005), pp. 11-21.

**DOMINGUEZ-GRANDA, L., GOETHALS, P. y PAUW, N.** “Aspectos del ambiente fisico-químico del río Chaguana: un primer paso en el uso de los macroinvertebrados bentónicos en la evaluación de su calidad de agua”. 2005.

**EPA.** “ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, AND SOILS”. *EPA*, vol. 18, no. 7, (1996), pp. 723. ISSN 0287-2137.

**ESPÍN, D., JARRÍN, J. y ESCOBAR, O.** “MANEJO, GESTIÓN, TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RELAVES MINEROS GENERADOS EN EL PROYECTO RÍO BLANCO”., vol. 2, no. 4, (2017), pp. 1-11.

**FAO.** “GUÍA PARA LA DESCRIPCIÓN DE SUELOS”. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación* [en línea], 2014, vol. 3, no. 4, pp. 100. Disponible en: [file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00 \(1\).pdf](file:///C:/Users/Alina%20Belen%20Ortiz/Downloads/a0541s00%20(1).pdf).

**FERRÉ, N., SCHUHMACHER, M., LLOBET, J. y DOMINGO, J.** “Metales pesados y salud: Diseño de un software para evaluar los riesgos de la exposición ambiental a través del agua, suelos y aire”. *Mapfre seguridad* [en línea], 2007, vol. 27, no. 108, pp. 50-58. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2508799%0Ahttps://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/prev-ma/revista-seguridad/n108-programa-hra-metales-pesados.pdf>.

**GAD EL GUABO.** “Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Del Cantón El Guabo Actualización 2015 Contenido”. 2015, pp. 43.

**GISBERT BLANQUER, J.M., IBAÑEZ ASENSIO, S. y MORENO RAMÓN, H.** “La textura del suelo”. [en línea], 2010. [Consulta: 1 febrero 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/7775>.

**GUTIÉRREZ, C., JESÚS, D. y LÓPEZ, P.** “Los manglares de Tabasco , una reserva natural de carbono”. 2002.

**HAKANSON, L.** “An ecological risk index for aquatic pollution control.a sedimentological approach”. *Water Research* [en línea], 1980, vol. 14, no. 8, pp. 975-1001. ISSN 0043-1354. DOI [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8). Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043135480901438>.

**HARBISON, P.** “Mangrove muds—A sink and a source for trace metals”. *Marine Pollution Bulletin* [en línea], 1986, vol. 17, no. 6, pp. 246-250. ISSN 0025-326X. DOI

[https://doi.org/10.1016/0025-326X\(86\)90057-3](https://doi.org/10.1016/0025-326X(86)90057-3). Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0025326X86900573>.

**HARDSTEDT y LAUMOND.** “Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life”. [en línea]. [sin fecha]. [Consulta: 27 enero 2023]. Disponible en: <https://www.pla.co.uk/Environment/Canadian-Sediment-Quality-Guidelines-for-the-Protection-of-Aquatic-Life>.

**HERRANZ, M. et al.** “Procedimiento de toma de muestras de sedimentos para la determinación de la radiactividad ambiental”. *Consejo de Seguridad Nuclear* [en línea], 2007, pp. 26. ISSN 0277-9536. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-07+Vigilancia+radiológica+ambiental.+Procedimiento+1.10>.

**HERRERA SILVEIRA. et al.** “Dinámica del carbono (almacenes y flujos) en manglares de México”. *Terra Latinoamericana* [en línea], 2016, vol. 34, no. 1, pp. 1-18. [Consulta: 5 febrero 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000100061](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000100061).

**HERRERO-BARRENCUA, A. et al.** “Final report of mangroves in Principe Island (São Tomé e Príncipe) 2017”. 2017. S.l.

**HOLGUIN, G. y BASHAN, Y.** “La importancia de los manglares y su microbiología para el sostenimiento de las pesquerías costeras. En: R. FERRERA CERRATO y A. ALARCÓN (eds.)”, *MICROBIOLOGÍA AGRÍCOLA*. México City: Editorial Trillas, (2007), pp. 239-253.

**HOOGSTEEN, M.J.J. et al.** “Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss”. *European Journal of Soil Science* [en línea], 2015, vol. 66, no. 2, pp. 320-328. [Consulta: 31 enero 2023]. ISSN 1365-2389. DOI 10.1111/EJSS.12224. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/ejss.12224>.

**H. TAMARA.** “Guía para la descripción de suelos”. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación* [en línea], 2014, vol. 3, no. 4, pp. 100. Disponible en: [file:///C:/Users/Alina Belen Ortiz/Downloads/a0541s00 \(1\).pdf](file:///C:/Users/Alina%20Belen%20Ortiz/Downloads/a0541s00%20(1).pdf).



**IDEAM.** “INSTRUCTIVO PREPARACIÓN DE SUELOS Y SEDIMENTOS PARA ANÁLISIS”. *Suparyanto dan Rosad (2015)*, vol. 5, no. 3, (2020), pp. 248-253.

**JOSHI, H. y GHOSE, M.** “Forest structure and species distribution along soil salinity and pH gradient in mangrove swamps of the Sundarbans”. *Tropical Ecology*, vol. 44, no. 2, (2003) pp. 197-206. ISSN 0564-3295.

**JUÁREZ, P., FUENTE, J. y VACA, R.** “Determinación de factores de enriquecimiento y geo acumulación”. *Ciencia ergo sum* [en línea], 2005, vol. 12, no. 2, pp. 154-161. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/104/10412207.pdf>.

**KINTZ, J.R.C., SALAMANCA, E.J.P. y ORTIZ, R.N.** “*Manglares*”. S.l.: s.n. 2018. ISBN 9786078328024.

**LEÓN, I., MÉNDEZ, G. y RUBIO, B.** “Fases geoquímicas del Fe y grado de piritización en sedimentos de la Ría de Pontevedra (NO de España): Implicaciones del cultivo del mejillón en bateas”. *Ciencias Marinas* [en línea], 2004, vol. 30, no. 4, pp. 585-602. ISSN 0185-3880. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48030408>.

**LILLO, J.** “Visite el GEMM Grupo de Estudios de Minería y Medioambiente (Textos y cursos on-line)”. [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 17 marzo 2023 b]. Disponible en: [http://phys4.harvard.edu/~wilson/arsenic/pictures/arsenic\\_project\\_pict](http://phys4.harvard.edu/~wilson/arsenic/pictures/arsenic_project_pict).

**LONDOÑO FRANCO, L.F. et al.** “LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL”. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14, no. 2, (2016), pp. 145. DOI 10.18684/bsaa (14)145-153.

**LÓPEZ-ANGARITA, J. et al.** “Mangroves and people: Lessons from a history of use and abuse in four Latin American countries. *Forest Ecology and Management*, vol. 368, (2016), pp. 151-162. ISSN 0378-1127. DOI 10.1016/J.FORECO.2016.03.020.

**Los estuarios | US EPA.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/los-estuarios>.

**M. BRANDER, L. et al.** “Ecosystem service values for mangroves in Southeast Asia: A meta-analysis and value transfer application”. *Ecosystem Services*, vol. 1, no. 1, (2012), pp. 62-69. ISSN 2212-0416. DOI 10.1016/J.ECOSER.2012.06.003.

**MAE.** “Línea de base nacional”. [en línea], 2020, no. Línea de base nacional para la minería artesanal y en pequeña escala de Oro en Ecuador, pp. 33-80. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/NAP-Inventario-de-Mercurio-Ecuador.pdf>.

**MAG.** “Cifras Territoriales”. [en línea], 2022, [Consulta: 10 marzo 2023]. Disponible en: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-territoriales>.

**MAGAP.** “Cantón San Miguel De Bolívar / Bloque 2. 4 proyecto: “Levantamiento De Cartografía Temática”. 2015.

**MAO, C.** “Spatial Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Sediment of a Tropical Mangrove Wetland on Hainan Island, China”. *Water (Switzerland)*. S.l.: 2022.

**MARÍN-LEAL, J.C. et al.** “Evaluación de riesgo ecológico por elementos potencialmente tóxicos en sedimentos costeros de un estuario tropical hipereutrófico”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 38, (2022), pp. 335-349. ISSN 01884999. DOI 10.20937/rica.54504.

**MEDINA, M.H. et al.** “Micro-evolution due to pollution: possible consequences for ecosystem responses to toxic stress”. *Chemosphere*, vol. 67, no. 11, (2007), pp. 2105-2114. ISSN 0045-6535 (Print). DOI 10.1016/j.chemosphere.2006.12.024.

**MONIKH, F.A. et al.** “The effect of primary producers of experimental aquatic food chains on mercury and PCB153 biomagnification”. *Ecotoxicology and environmental safety*, vol. 94, (2013), pp. 112-115. ISSN 1090-2414 (Electronic). DOI 10.1016/j.ecoenv.2013.05.013.

**MORENO CÁLIZ, E. et al.** “Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono”. *Madera y Bosques* [en línea], 2002, vol. 8, no. 1, pp. 115-128. [Consulta: 5 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61780107.pdf>.

**MUÑOZ, N.C. y ARANGO-RUIZ, Á.** “Mercury as a pollutant and risk factor for human health”. *Revista Lasallista de Investigacion*, vol. 17, no. 2, (2020), pp. 280-296. ISSN 22563938. DOI 10.22507/rli.v17n2a21.

**NALDA ROMERO.** Capítulo 15 15-, 1997pp. 297-314.

**ONU-REDD P R O G R A M A.** [en línea], [sin fecha]. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: [www.flacsoandes.edu.ec](http://www.flacsoandes.edu.ec).

**PAL, D. et al.** *Vegetation pattern and soil characteristics of some mangrove forest zones of the Sundarbans, West Bengal. Indian Agriculturist 4.* S.l.: s.n. 1996.

**PARQUES NACIONALES NATURALES DE COLOMBIA y AMAZONIA - DIRECCIÓN TERRITORIAL.** “Protocolo para Toma de Muestras de Sedimentos para Análisis de Mercurio y otros Metales”. [en línea], 2018, vol. 1, pp. 4-24. Disponible en: <https://www.parquesnacionales.gov.co/portal/wp-content/uploads/2019/07/PROTOCOLO-SEDIMENTOS.pdf>.

**PARRA, J.P. y ESPINOSA, L.F.** “DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS (Pb, Cd Y Zn) EN PERFILES DE SEDIMENTO ASOCIADO A RHIZOPHORA MANGLE EN EL RÍO SEVILLA - CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA, COLOMBIA”. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, vol. 37, no. 1, (2008), pp. 95-110. ISSN 01229761. DOI 10.25268/bimc.invemar.2008.37.1.184.

**PÉREZ MORA, W.H.** “Evaluación del índice de geo acumulación de algunos metales pesados en suelos de cultivo de hortalizas en la ribera del río Bogotá”. *Revista ION*, vol. 34, no. 1, (2021), pp. 37-45. DOI 10.18273/revion.v34n1-2021004.

**PÉREZ-CARRERA, A. y FERNÁNDEZ CIRELLI, A.** “Niveles de arsénico y vanadio en aguas naturales en el Departamento de Unión, sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina”. *Augdmodus*, vol. 5, no. Especial I, (2013), pp. 19-28. ISSN ISSN:1852-2181.

**PIOVANI, J.I. y KRAWCZYK, N.** “Los Estudios Comparativos: algunas notas históricas, epistemológicas y metodológicas”. *Educação & Realidade* [en línea], 2017, vol. 42, no. 3, pp. 821-840. DOI 10.1590/2175-623667609. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/edreal/a/bpZMFD6VmHfZ3vXgTDJpZTh/?format=pdf&lang=es>.

**PRIETO MÉNDEZ, J. et al.** “CONTAMINACIÓN Y FITOTOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS PROVENIENTES DE SUELOS Y AGUA”. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea], 2009, vol. 10, no. 1, pp. 29-44. [Consulta: 6 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>.

**RAMÍREZ LOZADA, D.G. y ROJAS VILLAMIL, N.D.** “INFLUENCIA DE LA COMUNIDAD BACTERIANA EN LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS DEL CARBONO Y EL NITRÓGENO EN EL ECOSISTEMA DE MANGLAR”. [en línea]. 2020. S.l.: s.n. [Consulta: 6 febrero 2023]. Disponible en: <https://repositorio.unicolmayor.edu.co/bitstream/handle/unicolmayor/257/Danya%20Ramirez%20y%20Nicolas%20Rojas%20INFLUENCIA%20DE%20LA%20COMUNIDAD%20BACTERIANA%20EN%20LOS%20CICLOS%20BIOGEOQU%c3%8dMICOS%20DEL%20CARBONO%20Y%20EL%20NITR%c3%93GENO%20EN%20EL%20ECOSISTEMA%20DE%20MANGLAR.pdf?sequence=2&isAllowed=y>.

**RAMOS R, M. y MUÑOZ A, L.** “La enseñanza de la química ambiental: Una propuesta fundamentada en la controversia científica y la resolución de problemas”. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED* [en línea], 2015. no. 38, pp. 133-146. [Consulta: 27 junio 2022]. ISSN 0121-3814. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-38142015000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-38142015000200008&lng=en&nrm=iso&tlng=es).

**REYES NAVARRETE, M.G. et al.** “METALES PESADOS: IMPORTANCIA Y ANALISIS [en línea], [sin fecha], S.l.: s.n. ISBN 6188142091. Disponible en: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48440540/ANALISIS\\_DE\\_ARSENICO\\_Y\\_METALES\\_PESADOS\\_EN\\_E\\_L\\_AGUA\\_2-libre.pdf?1472571247=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMETALES\\_PESADOS\\_IMPORTANCIA\\_Y\\_ANALISIS.pdf&Expires=1675779196&Signature=NISivQ1Fy83KZOrQiCJBWy7urVI0KtdCRDOU4JthzMQvDPwx~P1tPRsIJgGQogdlhZgmwqCOJQJtF9MDIS-eb4zptaLotRrPp4kNdSKcVk2AxOYp8GhP6TbA2RCnxoDMT-ep-NPagwH9Ff4ggqRAfmBSWkukWNX8DQ~x-hJFQmziVZCHC5AQmUskAHIPYUcXrWd-9pdz0BWocB1wvsgTjvorJmnMoyIg2oo9d2qMnY-j7fO~rXBRDdfoTjVtolIY-HnPDn4CYfdgq4EKHxzflQUFTAagglviRy-tr3giuXkJMqkWDhADfwYLRqLS1xTw36R-fYrLrS5zctqvibfb5w\\_\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/48440540/ANALISIS_DE_ARSENICO_Y_METALES_PESADOS_EN_E_L_AGUA_2-libre.pdf?1472571247=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMETALES_PESADOS_IMPORTANCIA_Y_ANALISIS.pdf&Expires=1675779196&Signature=NISivQ1Fy83KZOrQiCJBWy7urVI0KtdCRDOU4JthzMQvDPwx~P1tPRsIJgGQogdlhZgmwqCOJQJtF9MDIS-eb4zptaLotRrPp4kNdSKcVk2AxOYp8GhP6TbA2RCnxoDMT-ep-NPagwH9Ff4ggqRAfmBSWkukWNX8DQ~x-hJFQmziVZCHC5AQmUskAHIPYUcXrWd-9pdz0BWocB1wvsgTjvorJmnMoyIg2oo9d2qMnY-j7fO~rXBRDdfoTjVtolIY-HnPDn4CYfdgq4EKHxzflQUFTAagglviRy-tr3giuXkJMqkWDhADfwYLRqLS1xTw36R-fYrLrS5zctqvibfb5w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA).

**REYES, Y.C. et al.** “CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA”. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, vol. 16, no. 2, (2016), pp. 66-77. ISSN 2422-4324.

**SACHERI-VITERI, K. et al.** “PRIMER ESTUDIO DE DOS ESPECIES DE ASPERGILLUS AISLADAS DE BOSQUES DE MANGLAR EN ECUADOR”. *SciELO*, vol. 35, no. 1. (2022), ISSN 1390-8596.

**SAH, K.D. et al.** “Electrochemical properties of some mangrove muds of the Sundarbans”. (1985), pp. 372-374.

**SALEM, M.E. y MERCER, D.E.** “The Economic Value of Mangroves: A Meta-Analysis”. [en línea], 2012, vol. 4, pp. 359-383. [Consulta: 27 enero 2023]. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su4030359. Disponible en: [www.mdpi.com/journal/sustainabilityArticle](http://www.mdpi.com/journal/sustainabilityArticle).

**SANDOVAL, F.** “La pequeña minería en el Ecuador”. *Mining, Minerals and Sustainable Development*, no. 75. (2001), ISSN 0959-9428. DOI 10.1039/b203596k.

**SHOTYK, W. et al.** “New Peat Bog Record of Atmospheric Lead Pollution in Switzerland: Pb Concentrations, Enrichment Factors, Isotopic Composition, and Organolead Species”. *Environmental Science & Technology* [en línea], 2002, vol. 36, no. 18, pp. 3893-3900. ISSN 0013-936X. DOI 10.1021/es010196i. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/es010196i>.

**SOLIS, M.A.** “Los Manglares del Ecuador”. *Revista Geográfica* [en línea], 1961, vol. 28, no. 54, pp. 69-88. [Consulta: 27 enero 2023]. ISSN 00310581. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/40996589>.

**SUNDARARAJAN, M. y NATESAN, U.** “Environmental geochemistry of core sediments from Serthalaikkadu creek, East coast of India”. *Environmental Earth Sciences*, vol. 62, (2010), pp. 493-506. DOI 10.1007/s12665-010-0542-2.

**TEJEDOR-FLORES, N. et al.** “Ecosistema de Manglar de la Bahía de Panamá: Investigaciones en desarrollo”. *Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología – APANAC*, 2021, DOI 10.33412/apanac.2021.3261.

**TOMLINSON, D.L. et al.** “Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index”. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, vol. 33, no. 1-4, (1980), pp. 566-575. ISSN 00179957. DOI 10.1007/BF02414780.

**TOSTADO MADRID, T. et al.** “Actualidades de las características del hierro y su uso en pediatría”. *Acta Pediátrica de México* [en línea], 2015, pp. 189-200. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/actpedmex/apm-2015/apm153h.pdf>.

**TUREKIAN, K.K. et al.** “Mineralogische-Institut der Universitat, Gottingen, Germany Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth’s Crust”. *America*, no. February, (1961). pp. 175-192.

**USDA.** “Soil Taxonomy”, vol. 45, no. 4, (1999), pp. 225-232. ISSN 00039039. DOI 10.1007/BF01574372.

**VALDÉS VELARDE, E. et al.** “Evaluación del carbono orgánico en suelos de los manglares de Nayarit”. [en línea], 2011, vol. 2, no. 8, pp. 1-14. [Consulta: 4 febrero 2023]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322011000600005](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322011000600005).

**VELÁSQUEZ-LÓPEZ, P.C. et al.** “Estimación del riesgo ecológico y a la salud humana del mercurio en una zona de manglar del estuario La Puntilla, provincia de El Oro, sur del Ecuador”. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* [en línea], 2020, vol. 49, no. 1, pp. 81-100. [Consulta: 15 marzo 2023]. ISSN 2590-4671. DOI 10.25268/bimc.invemar.2020.49.1.775. Disponible en: <http://boletin.invemar.org.co/ojs/index.php/boletin/article/view/931>.

**YELENA, F.** “THE PRODUCTIVITY OF THE SHRIMP SECTOR IN THE PRO”. 2019, pp. 39-44.

**YÉPEZ-MOREIRA, R.** “Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica”. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica Página*, vol. 7, no. 39, (2019), pp. 1-24.

**YUAN, X. et al.** “Sediment properties and heavy metal pollution assessment in the river, estuary and lake environments of a fluvial plain, China”. *CATENA* [en línea], 2014, vol. 119, pp. 52-60. ISSN 0341-8162. DOI <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.03.008>. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816214000770>.

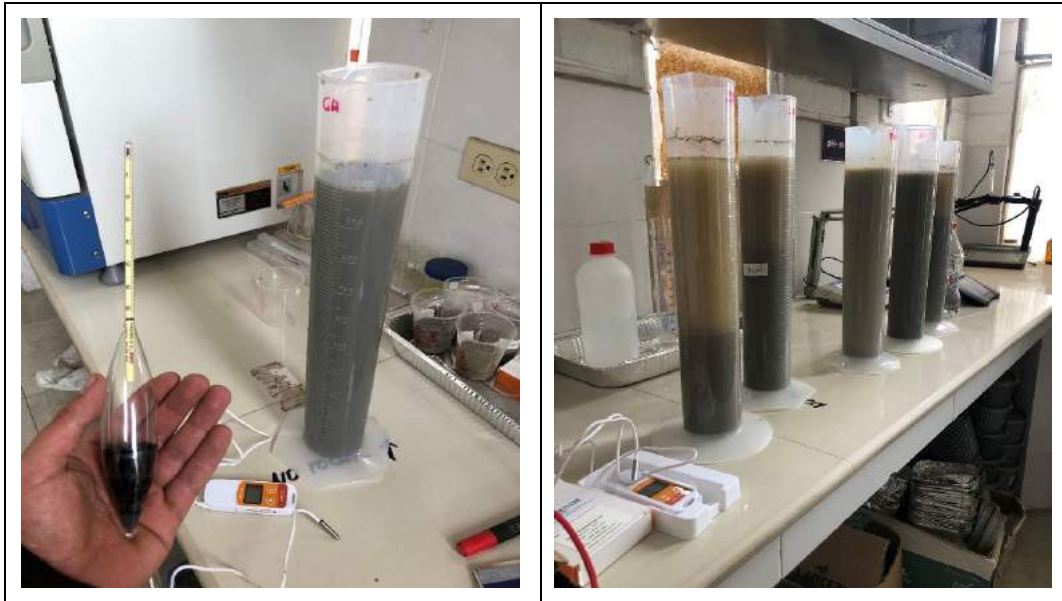


## ANEXOS

### ANEXO A: PROCESAMIENTO DE MUESTRAS (MÉTODO LOI)



**ANEXO B: MÉTODO DE BOUYOCUS**



**ANEXO C: PROCESAMIENTO DE SUELO PARA ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN DEL SUELO**

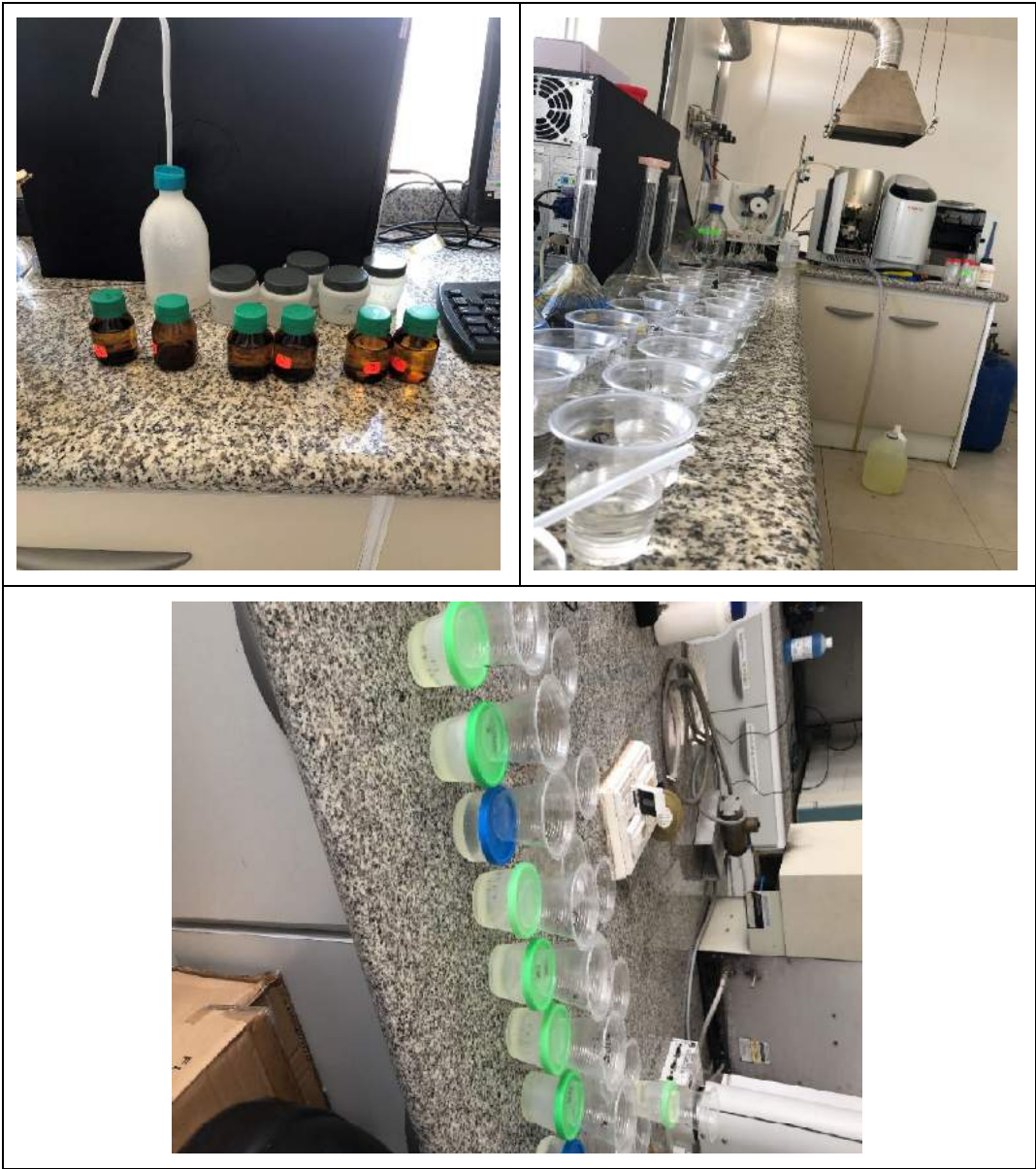




**ANEXO D: DIGESTIÓN Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS**



**ANEXO E: DILUCIÓN DE MUESTRAS PARA ANÁLISIS DE METALES PESADOS**



**ANEXO F: TRITURACIÓN Y TAMIZAJE DE MUESTRAS**



## ANEXO G: RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LOS ÍNDICES DE CONTAMINACIÓN Y CALIDAD DE SEDIMENTOS

Zonas	Punto	Profundidad	F.E (Hg)	Estado de contaminación	F.E (As)	Estado de contaminación	Igeo (Hg)	Estado de contaminación	Igeo (As)	Estado de contaminación
Rio 7	P1	0 a 5	146,08	Moderadamente enriquecido	324,83	Moderadamente enriquecido	-0,08	No contaminado	1,07	Moderadamente contaminado
Rio 7	P1	5 a 10	102,68	Moderadamente enriquecido	264,81	Moderadamente enriquecido	-0,44	No contaminado	0,92	No contaminado a moderadamente contaminado
Rio 7	P1	10 a 15	131,17	Moderadamente enriquecido	427,01	Moderadamente enriquecido	-0,18	No contaminado	1,52	Moderadamente contaminado
Rio 7	P1	15 a 20	156,94	Moderadamente enriquecido	250,68	Moderadamente enriquecido	-0,56	No contaminado	0,11	No contaminado a moderadamente contaminado
Zona 1	P2	0 a 5	167,52	Moderadamente enriquecido	74,63	Moderadamente enriquecido	-0,63	No contaminado	-1,80	No contaminado
Zona 1	P2	5 a 10	0,00	De la roca madre	60,15	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-2,31	No contaminado
Zona 1	P2	10 a 15	0,00	De la roca madre	251,08	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,42	No contaminado
Zona 1	P2	15 a 20	0,00	De la roca madre	90,31	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-2,31	No contaminado
Zona 1	P3	0 a 5	212,79	Moderadamente enriquecido	181,92	Moderadamente enriquecido	-0,77	No contaminado	-1,00	No contaminado
Zona 1	P3	5 a 10	0,00	No contaminado	102,39	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-2,40	No contaminado
Zona 1	P3	10 a 15	0,00	No contaminado	97,30	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,77	No contaminado
Zona 1	P3	15 a 20	57,08	No contaminado	63,71	Moderadamente enriquecido	-2,69	No contaminado	-2,53	No contaminado
Zona 1	P4	0 a 5	0,00	De la roca madre	91,95	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-2,88	No contaminado
Zona 1	P4	5 a 10	0,00	De la roca madre	50,77	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-2,84	No contaminado
Zona 1	P4	10 a 15	0,00	De la roca madre	457,21	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,05	No contaminado
Zona 1	P4	15 a 20	0,00	De la roca madre	12,31	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-3,78	No contaminado
Zona 2	P5	0 a 5	0,00	De la roca madre	254,75	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	0,04	No contaminado a moderadamente contaminado
Zona 2	P5	5 a 10	0,00	De la roca madre	207,02	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,33	No contaminado
Zona 2	P5	10 a 15	0,00	De la roca madre	265,25	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,20	No contaminado
Zona 2	P5	15 a 20	0,00	De la roca madre	98,36	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,86	No contaminado
Zona 2	P6	0 a 5	0,00	De la roca madre	244,21	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,44	No contaminado
Zona 2	P6	5 a 10	0,00	De la roca madre	233,41	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,55	No contaminado
Zona 2	P6	10 a 15	1237,59	Contaminación de origen antropogénico	284,98	Moderadamente enriquecido	2,29	De moderado a fuertemente contaminado	0,17	No contaminado a moderadamente contaminado
Zona 2	P6	15 a 20	0,00	De la roca madre	176,75	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,51	No contaminado
Zona 2	P7	0 a 5	0,00	De la roca madre	1279,42	Contaminación de origen antropogénico	0	No contaminado	1,89	Moderadamente contaminado
Zona 2	P7	5 a 10	0,00	De la roca madre	814,14	Contaminación de origen antropogénico	0	No contaminado	1,87	Moderadamente contaminado
Zona 2	P7	10 a 15	0,00	De la roca madre	1831,77	Contaminación de origen antropogénico	0	No contaminado	2,35	De moderado a fuertemente contaminado
Zona 2	P7	15 a 20	0,00	De la roca madre	1399,34	Contaminación de origen antropogénico	0	No contaminado	1,46	Moderadamente contaminado
Zona 3	P8	0 a 5	0,00	De la roca madre	108,10	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,07	No contaminado
Zona 3	P8	5 a 10	0,00	De la roca madre	120,71	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,04	No contaminado
Zona 3	P8	10 a 15	0,00	De la roca madre	214,54	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,51	No contaminado
Zona 3	P8	15 a 20	0,00	De la roca madre	165,51	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,22	No contaminado
Zona 3	P9	0 a 5	0,00	De la roca madre	134,72	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,41	No contaminado
Zona 3	P9	5 a 10	0,00	De la roca madre	128,02	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,45	No contaminado
Zona 3	P9	10 a 15	0,00	De la roca madre	199,59	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-0,93	No contaminado
Zona 3	P9	15 a 20	0,00	De la roca madre	147,95	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,37	No contaminado
Zona 3	P10	0 a 5	0,00	De la roca madre	109,82	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,84	No contaminado
Zona 3	P10	5 a 10	55,14	Moderadamente enriquecido	48,66	Moderadamente enriquecido	-1,69	No contaminado	-1,87	No contaminado
Zona 3	P10	10 a 15	340,75	Moderadamente enriquecido	87,70	Moderadamente enriquecido	0,51	No contaminado a moderadamente contaminado	-1,45	No contaminado
Zona 3	P10	15 a 20	0,00	No contaminado	86,77	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,80	No contaminado
Rio Chaguana	P11	0 a 5	0,00	No contaminado	48,88	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-2,81	No contaminado
Rio Chaguana	P11	5 a 10	0,00	No contaminado	41,53	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-2,81	No contaminado
Rio Chaguana	P11	10 a 15	0,00	No contaminado	124,60	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-1,48	No contaminado
Rio Chaguana	P11	15 a 20	0,00	No contaminado	22,32	Moderadamente enriquecido	0	No contaminado	-4,23	No contaminado

## ANEXO H: DATOS UTILIZADOS PARA LA CORRELACIÓN DE SPEARMAN

Puntos	Profundidades	As	Hg	ph	Conductividad	%M. O	%C. O	Densidad real	MO	CT	NT	LIMOS	ARCILLAS	ARENAS
P1	0 a 5	40,88	0,57	6,82	20,9	2,58	1,49	2,18	2,31	0,77	0,19	49,97	30,20	19,83
P1	5 a 10	37,00	0,44	6,82	20,9	2,58	1,49	2,18	2,31	0,77	0,19	49,97	30,20	19,83
P1	10 a 15	56,03	0,53	6,82	20,9	2,58	1,49	2,18	2,31	0,77	0,19	49,97	30,20	19,83
P1	15 a 20	21,06	0,41	6,82	20,9	2,58	1,49	2,18	2,31	0,77	0,19	49,97	30,20	19,83
P2	0 a 5	5,61	0,39	7,64	22	5,82	3,37	2,10	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P2	5 a 10	3,94	0	7,64	22	5,82	3,37	2,10	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P2	10 a 15	14,59	0	7,64	22	5,82	3,37	2,10	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P2	15 a 20	3,94	0	7,64	22	5,82	3,37	2,10	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P3	0 a 5	9,78	0,35	7,46	23,5	3,56	2,07	2,19	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P3	5 a 10	3,70	0	7,46	23,5	3,56	2,07	2,19	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P3	10 a 15	5,72	0	7,46	23,5	3,56	2,07	2,19	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P3	15 a 20	3,37	0,093	7,46	23,5	3,56	2,07	2,19	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P4	0 a 5	2,66	0	7,97	15,53	6,10	3,54	2,22	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P4	5 a 10	2,72	0	7,97	15,53	6,10	3,54	2,22	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P4	10 a 15	18,82	0	7,97	15,53	6,10	3,54	2,22	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P4	15 a 20	1,42	0	7,97	15,53	6,10	3,54	2,22	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P5	0 a 5	20,12	0	7,82	11,08	3,25	1,88	2,21	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P5	5 a 10	15,49	0	7,82	11,08	3,25	1,88	2,21	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P5	10 a 15	16,94	0	7,82	11,08	3,25	1,88	2,21	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P5	15 a 20	10,74	0	7,82	11,08	3,25	1,88	2,21	4,01	2,07	0,17	22,13	66,97	10,89
P6	0 a 5	14,41	0	7,81	18,11	3,50	2,03	2,13	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P6	5 a 10	13,29	0	7,81	18,11	3,50	2,03	2,13	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P6	10 a 15	21,90	2,93	7,81	18,11	3,50	2,03	2,13	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P6	15 a 20	13,65	0	7,81	18,11	3,50	2,03	2,13	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P7	0 a 5	72,44	0	7,62	26,1	6,98	4,05	2,16	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P7	5 a 10	71,12	0	7,62	26,1	6,98	4,05	2,16	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P7	10 a 15	99,74	0	7,62	26,1	6,98	4,05	2,16	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P7	15 a 20	53,75	0	7,62	26,1	6,98	4,05	2,16	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P8	0 a 5	9,32	0	7,56	25,8	4,28	2,48	2,07	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P8	5 a 10	9,49	0	7,56	25,8	4,28	2,48	2,07	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P8	10 a 15	13,72	0	7,56	25,8	4,28	2,48	2,07	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P8	15 a 20	8,38	0	7,56	25,8	4,28	2,48	2,07	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P9	0 a 5	7,36	0	7,21	23,9	7,32	4,25	2,07	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P9	5 a 10	7,15	0	7,21	23,9	7,32	4,25	2,07	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P9	10 a 15	10,26	0	7,21	23,9	7,32	4,25	2,07	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P9	15 a 20	7,56	0	7,21	23,9	7,32	4,25	2,07	4,76	2,49	0,09	7,92	80,13	11,95
P10	0 a 5	5,46	0	7,98	15,92	3,91	2,27	2,19	3,90	1,91	0,16	41,86	44,58	13,57
P10	5 a 10	5,32	0,19	7,98	15,92	3,91	2,27	2,19	3,90	1,91	0,16	41,86	44,58	13,57
P10	10 a 15	7,13	0,85	7,98	15,92	3,91	2,27	2,19	3,90	1,91	0,16	41,86	44,58	13,57
P10	15 a 20	5,61	0	7,98	15,92	3,91	2,27	2,19	3,90	1,91	0,16	41,86	44,58	13,57
P11	0 a 5	2,79	0	7,93	13,79	2,79	1,62	2,14	2,49	1,17	0,09	27,85	30,50	41,66
P11	5 a 10	2,79	0	7,93	13,79	2,79	1,62	2,14	2,49	1,17	0,09	27,85	30,50	41,66
P11	10 a 15	7,01	0	7,93	13,79	2,79	1,62	2,14	2,49	1,17	0,09	27,85	30,50	41,66
P11	15 a 20	1,04	0	7,93	13,79	2,79	1,62	2,14	2,49	1,17	0,09	27,85	30,50	41,66

## ANEXO I: Evaluación del índice de Riesgo Ecológico

Zonas	Puntos	Profundidades	Ei_As	interpre	Ei_Hg	Interpre	Ir_As	Interpre	Ir_Hg	Interpre
Rio 7	P1	0 a 5	31,44761538	Bajo riesgo Ecologico	56,57	Riesgo ecologico moderado	119,205	Bajo riesgo Ecologico	194,23	Riesgo Ecologico Moderado
Rio 7	P1	5 a 10	28,46076923	Bajo riesgo Ecologico	44,14	Riesgo ecologico moderado				
Rio 7	P1	10 a 15	43,1	Riesgo ecologico moderado	52,96	Riesgo ecologico moderado				
Rio 7	P1	15 a 20	16,19638462	Bajo riesgo Ecologico	40,56	Riesgo ecologico moderado				
Zona 1	P2	0 a 5	4,314769231	Bajo riesgo Ecologico	38,74	Bajo riesgo Ecologico	21,591	Bajo riesgo Ecologico	38,74	Bajo riesgo Ecologico
Zona 1	P2	5 a 10	3,027692308	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 1	P2	10 a 15	11,22107692	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 1	P2	15 a 20	3,027692308	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 1	P3	0 a 5	7,519307692	Bajo riesgo Ecologico	35,18	Bajo riesgo Ecologico	17,3637	Bajo riesgo Ecologico	44,48	Bajo riesgo Ecologico
Zona 1	P3	5 a 10	2,846	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 1	P3	10 a 15	4,403153846	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 1	P3	15 a 20	2,595230769	Bajo riesgo Ecologico	9,3	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 1	P4	0 a 5	2,043615385	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico	19,705	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico
Zona 1	P4	5 a 10	2,090461538	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 1	P4	10 a 15	14,47676923	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 1	P4	15 a 20	1,094615385	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 2	P5	0 a 5	15,47369231	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico	48,682	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico
Zona 2	P5	5 a 10	11,91530769	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 2	P5	10 a 15	13,03307692	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 2	P5	15 a 20	8,259692308	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 2	P6	0 a 5	11,08784615	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico	48,659	Bajo riesgo Ecologico	292,6	Riesgo Ecologico Moderado
Zona 2	P6	5 a 10	10,22366923	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 2	P6	10 a 15	16,84423077	Bajo riesgo Ecologico	292,6	Riesgo ecologico considerable				
Zona 2	P6	15 a 20	10,50292308	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 2	P7	0 a 5	55,72253846	Riesgo ecologico moderado	0	Bajo riesgo Ecologico	228,504	Riesgo Ecologico Moderado	0	Bajo riesgo Ecologico
Zona 2	P7	5 a 10	54,70746154	Riesgo ecologico moderado	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 2	P7	10 a 15	76,72492308	Riesgo ecologico moderado	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 2	P7	15 a 20	41,34869231	Riesgo ecologico moderado	0	Bajo riesgo Ecologico				

Zona 3	P8	0 a 5	7,168692308	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico	31,46	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico
Zona 3	P8	5 a 10	7,297846154	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 3	P8	10 a 15	10,55176923	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 3	P8	15 a 20	6,444923077	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 3	P9	0 a 5	5,658461538	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico	24,869	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico
Zona 3	P9	5 a 10	5,503076923	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 3	P9	10 a 15	7,889230769	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 3	P9	15 a 20	5,818461538	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 3	P10	0 a 5	4,197538462	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico	18,089	Bajo riesgo Ecologico	103,82	Bajo riesgo Ecologico
Zona 3	P10	5 a 10	4,089615385	Bajo riesgo Ecologico	18,54	Bajo riesgo Ecologico				
Zona 3	P10	10 a 15	5,487	Bajo riesgo Ecologico	85,28	Riesgo ecologico considerable				
Zona 3	P10	15 a 20	4,314461538	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Rio Chaguana	P11	0 a 5	2,145230769	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico	10,478	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico
Rio Chaguana	P11	5 a 10	2,145230769	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Rio Chaguana	P11	10 a 15	5,388923077	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				
Rio Chaguana	P11	15 a 20	0,798461538	Bajo riesgo Ecologico	0	Bajo riesgo Ecologico				



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07 / 09 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Pablo Javier Aldas Valencia
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1233-DBRA-UPT-2023

