



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ

EXTENSIÓN PEDERNALES

CARRERA DE BIOLOGÍA

TESIS PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE BIÓLOGO

TEMA:

Determinación de la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* como bioindicador de contaminación en Puerto Tizal Pedernales 2025

AUTORES:

EMMA ESPERANZA ANDRADE ORTIZ

JOEL ALEXANDER VILLEGAS ROSADO

TUTORA:

ING. MARÍA SANTANA FAUBLA. M.Sc.

PEDERNALES – MANABÍ- ECUADOR 2025

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITILACIÓN

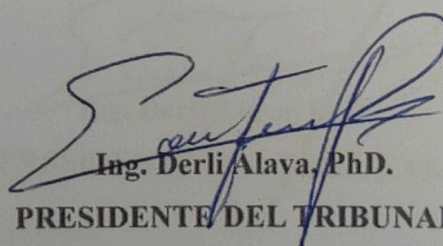
El tribunal evaluador


Certifica:

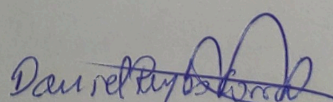
Que el trabajo de fin de carrera en la modalidad de Proyecto de investigación titulado:
“**Determinación de la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* como bioindicador de contaminación en Puerto Tizal, Pedernales 2025**” realizado y concluido por la Señorita: **EMMA ESPERANZA ANDRADE ORTIZ** ha sido revisado y evaluado por los miembros del tribunal.

El trabajo de fin de carrera antes mencionado cumple con los requisitos académicos, científicos y formales suficientes para ser aprobado.

Para dar testimonio y autenticidad firman:


Ing. Derli Alava, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL


Ing. Raúl Ramón Macías Chila, Mgs.
Miembro del tribunal


Blg. Daniel Reyes, Mgs.
Miembro del tribunal

CERTIFICACIÓN

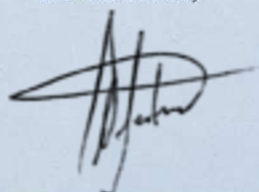
En calidad de docente tutora de la Extensión Pedernales de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **EMMA ESPERANZA ANDRADE ORTIZ**, legalmente matriculado en la carrera de Biología, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Determinación de la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* como bioindicador de contaminación en Puerto Tizal, Pedernales 2025”**.

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lo certifico,



Ing. María Dolores Santana Faubla M.Sc.

Docente Tutora

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **EMMA ESPERANZA ANDRADE ORTIZ**, con cédula de identidad No **1312909888** declaro que el presente trabajo de titulación “**Determinación de la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* como bioindicador de contaminación en Puerto Tizal, Pedernales 2025**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existente y respetando los derechos intelectuales de terceros considerados en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que las ideas y contenidos expuestos en el presente trabajo son de mi autoría, en virtud de ello, me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación antes mencionada.



Emma Esperanza Andrade Ortiz

C.I. 1312909888

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITILACIÓN

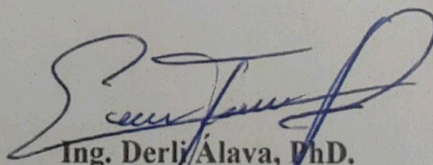
El tribunal evaluador

Certifica:


Que el trabajo de fin de carrera en la modalidad de Proyecto de investigación titulado:
"Determinación de la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* como bioindicador de contaminación en Puerto Tizal, Pedernales 2025" realizado y concluido por el Señor: **JOEL ALEXANDER VILLEGAS ROSADO** ha sido revisado y evaluado por los miembros del tribunal.

El trabajo de fin de carrera antes mencionado cumple con los requisitos académicos, científicos y formales suficientes para ser aprobado.

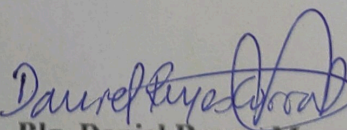
Para dar testimonio y autenticidad firman:



Ing. Derli Alava, PhD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Raúl Ramón Macías Chila, Mgs.
Miembro del tribunal



Blg. Daniel Reyes, Mgs.
Miembro del tribunal

CERTIFICACIÓN

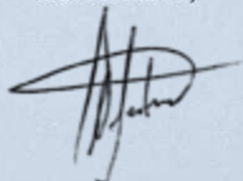
En calidad de docente tutora de la Extensión Pedernales de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría del estudiante **JOEL ALEXANDER VILLEGAS ROSADO**, legalmente matriculado en la carrera de Biología, período académico 2025-1, cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es "**Determinación de la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* como bioindicador de contaminación en Puerto Tizal, Pedernales 2025**".

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

Lo certifico,



Ing. María Dolores Santana Faubla M.Sc.

Docente Tutora

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, **JOEL ALEXANDER VILLEGAS ROSADO**, con cédula de identidad No **1316784162** declaro que el presente trabajo de titulación “**Determinación de la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* como bioindicador de contaminación en Puerto Tizal, Pedernales 2025**”, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existente y respetando los derechos intelectuales de terceros considerados en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que las ideas y contenidos expuestos en el presente trabajo son de mi autoría, en virtud de ello, me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación antes mencionada.



Joel Alexander Villegas Rosado

C.I. 1316784162

DEDICATORIA

Dedico este logro principalmente a Dios por ser mi refugio en momentos de incertidumbre, por ser mi aliento en los días más difíciles y por brindarme una vida llena de aprendizajes. A mi querido padre José Andrade, aunque hoy ya no está físicamente su amor, sus consejos, y apoyo incondicional me acompañaron en los primeros pasos de esta carrera del cual sigue siendo luz en mi camino, él dejó en mí la fuerza para poder continuar hasta el final, este logro es para ti papá.

A mi madre Gladys Ortiz, gracias por haber estado presente en todo este proceso, por no dejarme caer y estar en cada paso, en cada caída, gracias por tu amor y paciencia infinita por enseñarme a seguir adelante con valentía, este logro también es para ti porque sin ti nada de esto hubiera sido posible. A mis hermanos Anabel A, Magaly N, Yahaira O, Rolando O, por ser parte importante en mi vida, por cada palabra de aliento y por enseñarme el verdadero significado de la familia

A mis tíos Wilfrido Andrade, Fanny Valencia y prima Denisse Andrade, por tenderme la mano cuando mas lo necesitaba, por su generosidad sin medida y por creer en mí, gracias por ayudarme a continuar cuando el camino parecía difícil, y por convertirse en ese respaldo firme que me permitió llegar hasta aquí, su apoyo ah sido una bendición y este logro también les pertenece.

A mi novio Reymond M, por caminar a mi lado en cada etapa de este proceso por tu paciencia y comprensión por sostenerme en los días en que quise rendirme gracias por tu amor y por recordarme cada día de lo que soy capaz, gracias por celebrar mis logros como si fueran los tuyos.

Emma Esperanza Andrade Ortiz

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, fuente de fortaleza y sabiduría, por acompañarme en cada paso de este camino y por brindarme la claridad necesaria para concluir esta etapa.

A mi pequeña familia gracias tanto, por ser mi refugio mi fuerza e inspiración, en especial a mi hermana Anabel A, quién me alentó a continuar y a no decaer en el proceso sin importar cuán difícil sea el camino, gracias por todo tu amor y apoyo.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi compañero de tesis Joel Villegas, por su compromiso y compañerismo a lo largo del desarrollo de nuestra tesis, tu responsabilidad, dedicación, y apoyo constante fueron fundamentales para alcanzar este objetivo, gracias por tu esfuerzo y por ser parte esencial de este logro.

A mis amigas de la Universidad en especial a Micaela O, Joselin M, Gema N, gracias por acompañarme en este recorrido académico, por las risas, por los buenos momentos y más que todo por las experiencias compartidas. Agradezco de corazón a mi amigo Anthony R, por estar en los momentos mas duros, por escucharme y animarme tu apoyo fue fundamental en los momentos más difíciles.

A mi tutora María S, por haber creído en nuestro potencial y alentarnos con sus palabras, su apoyo y confianza fueron clave para la culminación de este trabajo. Y a todos quienes en alguna forma aportaron con palabras, gestos o acciones, mi más sincero agradecimiento.

Emma Esperanza Andrade Ortiz

DEDICATORIA

Con el corazón lleno de gratitud y emoción, dedico esta tesis a las personas que han sido mi pilar, mi motor y mi refugio en cada paso de este largo camino. A mi madre Monica Rosado, por ser mi luz en los momentos oscuros, mi fuerza cuando me sentí débil y mi ejemplo constante de lucha, entrega y amor incondicional. Tus sacrificios, tus palabras de aliento y tu abrazo siempre disponible han sido fundamentales para que hoy pueda cumplir este sueño. Gracias por enseñarme que todo es posible cuando se trabaja con fe y corazón.

A mi padre Francisco Amador, por tu firmeza, tu sabiduría silenciosa y tu manera única de apoyarme sin condiciones. Gracias por confiar en mí, incluso cuando mis pasos eran inciertos, y por demostrarme, con tu ejemplo, que el esfuerzo constante y la humildad abren caminos donde antes solo había dudas.

A mis hermanos Jandry e Isabel, por ser parte esencial de mi vida. Cada palabra, cada gesto y cada momento compartido ha sido una motivación para seguir adelante. Gracias por estar siempre ahí, por hacerme reír cuando más lo necesitaba y por hacerme sentir acompañado aun en la distancia o en el silencio.

Y a Angeli Merchán, mi compañera de vida y mi prometida. Esta meta también es tuya. Gracias por tu paciencia infinita, tu apoyo en los días de cansancio y desánimo, y por estar a mi lado en cada caída y en cada victoria. Tu amor ha sido mi refugio, tu presencia mi mayor motivación, y tus palabras la esperanza que me empujó a seguir.

Joel Alexander Villegas Rosado

AGRADECIMIENTO

Al mirar atrás y ver lo recorrido, entiendo que este logro no es solo personal, sino el fruto del apoyo y el cariño de muchas personas que han estado presentes en cada etapa de este camino. Agradezco profundamente a Dios, por ser mi guía constante, por brindarme fuerza cuando flaqueé, y por iluminar mi mente y mi corazón en los momentos de mayor desafío. A mi amada familia, mi mayor tesoro y refugio. Gracias por ser mi base, por su amor incondicional, por sus palabras de ánimo, su fe en mí, y por estar presentes incluso en la distancia.

A mi compañera de tesis, Emma Andrade, por compartir esta travesía académica con compromiso, respeto y trabajo en equipo. Gracias por tu entrega, tu responsabilidad y por afrontar cada reto con decisión. Sin tu esfuerzo conjunto, este proyecto no sería lo que es hoy. A mis amigos, esos que han estado en los momentos de presión, de cansancio, de dudas, y también en las celebraciones, en especial a Engny S, Yisela C, Joselin M, Gema N, Karol O.

A Angelo Vera, mi gran amigo desde el inicio de esta travesía universitaria. Tu amistad ha sido un regalo valioso en mi vida. Gracias por tu lealtad, tu apoyo incondicional y por seguir caminando a mi lado después de tantos años. A mi tutora María S, por su guía constante, su dedicación y su paciencia. Gracias por acompañarme con profesionalismo y compromiso en cada etapa de este proceso, por sus observaciones acertadas y por su confianza.

Y sobre todo a mi mejor amigo mi líder por siempre apoyarme sin importar la situación por ser uno de los pilares de mi vida más que un amigo es mi hermano.

Joel Alexander Villegas Rosado

ÍNDICE

Resumen	xvi
Palabras clave	
Abstract	xvii
Keywords	
CAPITULO 1: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.2.1. Definición de variables	6
1.2.2. Preguntas de investigación o hipótesis	6
1.3. Objetivos del proyecto	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos	7
1.4. Justificación del proyecto	7
1.5. Marco teórico	10
1.5.1. Concha prieta (<i>Anadara tuberculosa</i>)	10
1.5.1.1. Taxonomía	10
1.5.1.2. Morfología y características generales	10
1.5.1.3. Distribución y hábitat	11
1.5.1.4. Fisiología y adaptaciones	11
1.5.1.5. Alimentación	12
1.5.1.6. Comportamiento y reproducción	12
1.5.1.7. Importancia ecológica y económica	13
1.5.1.8. Amenazas y desafíos de conservación	13
1.5.2. Talla mínima legal de extracción y comercialización de <i>Anadara tuberculosa</i> en Ecuador	14
1.5.2.1 Importancia de la talla mínima	14
1. 5.2.2. Cumplimiento y desafíos	15
1.5.2.3 Comparativa regional	15
1.5.3. Cadmio (Cd):	16
1.5.3.1. Características y Toxicidad	16
1.5.3.2. Impacto en la salud humana	16
1.5.3.3. Efectos del Cadmio en Ecosistemas Acuáticos y Terrestres	17
1.5.3.4. Regulación y Prevención de la Contaminación por Cadmio	17
1.5.4. Mercurio (Hg):	18

1.5.4.1. Características y Toxicidad	18
1.5.4.2. Impacto en la salud humana	18
1.5.4.3. Impacto ambiental	18
1.5.4.4. Medidas de Regulación y Prevención	19
1.5.5. Contaminación por metales pesados en ecosistemas marinos	19
1.5.5.1. Sedimentos marinos como reservorios de contaminación	20
1.5.5.2 Bioacumulación de metales pesados en <i>Anadara tuberculosa</i>	21
1.5.5.3 Impactos ambientales y en la salud humana	22
1.5.5.4. El papel de los manglares en la mitigación de la contaminación	22
1.5.5.5 Factores que afectan la bioacumulación de metales pesados	23
1.5.5.6 Consecuencias ecológicas de la contaminación por metales pesados	24
1.5.5.7 Regulaciones y estrategias para el manejo de la contaminación por metales pesados	25
1.5.6. Límites permisibles de Cadmio (Cd) y Mercurio(Hg)	26
1.5.6.1. Sedimento (Lodo del manglar)	26
1.5.6.2. Concha prieta (<i>Anadara tuberculosa</i>)	26
1.5.7. Límites permisibles de parámetros físico-químicos y elementos traza en sedimento	27
1.5.7.1. Conductividad	28
1.5.7.2. pH	29
1.5.7.3. Nitratos y nitritos	30
1.5.7.4. Sulfatos	31
1.5.7.5. Cobre (Cu)	31
1.5.7.6. Hierro (Fe)	32
CAPÍTULO 2: DESARROLLO METODOLÓGICO (MATERIALES Y MÉTODOS)	34
2. METODOLOGÍA	34
2.1. Área de estudio	34
2.2. Diseño del estudio	35
2.3. Muestreo	35
2.3.1. Selección de sitios de muestreo	35
2.3.2. Recolección de muestras de sedimento.	37
2.3.3. Recolección de <i>Anadara tuberculosa</i>	37
2.4. Análisis de datos	39
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
3. RESULTADOS	39
3.1. Concentración de Cadmio y Mercurio en <i>Anadara tuberculosa</i>	39

3.2. Concentración de Cadmio y Mercurio en Sedimentos	41
3.3. Correlación entre parámetros fisicoquímicos, metales en tejido y metales en sedimento	41
3.4. Análisis estadístico global y validación del bioindicador	46
3.5. Modelo aplicado a los datos de tejido	46
3.6. Modelo aplicado a los datos de sedimento	48
3.7. Modelo y validación del bioindicador	49
3.8. Análisis e Interpretación de Parámetros en Sedimento Homogenizado	49
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	55
ANEXOS	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

Índice de Figuras

- Figura 1. Comunidad puerto Tizal 34
- Figura 2. Mapeado de la zona de estudio
- Figura 3. Distancia entre los puntos de muestreo 36
- Figura 4. Concentración de Cd y Hg (mg/kg) en tejido de *Anadara tuberculosa* por zona. 42
- Figura 5. Matriz de correlación entre metales en tejido, sedimento y parámetros ambientales. 45
- Figura 6. Comparación de concentración de Cd y Hg en tejido de *Anadara tuberculosa* por zonas. 46
- Figura 7. Concentraciones medias de Cd y Hg en sedimentos por zona. 48

Índice de tablas

- Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo
- Tabla 2. Concentración de Cd y Hg en tejido de *Anadara tuberculosa* por zona (mg/kg). 42
- Tabla 3. Concentración de Cd y Hg en sedimentos por zona (mg/kg).

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en el molusco *Anadara tuberculosa* y en sedimentos del sistema estuarino-manglar de Puerto Tizal, Ecuador, evaluando su utilidad como bioindicador de contaminación por metales pesados. Se establecieron cuatro zonas de muestreo donde se recolectaron muestras biológicas y ambientales, analizadas mediante espectrometría de absorción atómica en un laboratorio acreditado. En sedimentos se registraron concentraciones de Cd entre 0,077 y 0,096 mg/kg y de Hg entre 0,056 y 0,082 mg/kg, con mayores valores en la zona 3. También se determinaron parámetros fisicoquímicos como pH, conductividad, nitratos, nitritos, sulfatos, cobre y hierro para caracterizar las condiciones ambientales asociadas a la bioacumulación. El análisis estadístico incluyó ANOVA, correlaciones de Pearson y modelos lineales generales. Las comparaciones se realizaron entre las concentraciones de Cd y Hg en sedimentos y en los tejidos blandos de *Anadara tuberculosa*, evidenciando diferencias significativas entre zonas y asociaciones con variables ambientales, especialmente salinidad y temperatura. Los resultados confirmaron la presencia de ambos metales en sedimentos y organismos, así como concentraciones elevadas de nitratos, nitritos, cobre y hierro que en algunos casos superaron límites internacionales, lo que sugiere influencia de actividades antropogénicas en la dinámica de contaminación del área. Se concluye que *Anadara tuberculosa* constituye un bioindicador eficaz para el monitoreo ambiental, aportando información científica relevante para la gestión ambiental, la conservación de los manglares y la protección de la salud de las comunidades que dependen del consumo de este recurso marino de la región local.

Palabras clave: *Anadara tuberculosa*; bioacumulación; cadmio; mercurio; sedimentos.

Abstract

This study aimed to determine the concentrations of cadmium (Cd) and mercury (Hg) in the mollusk *Anadara tuberculosa* and in sediments from the estuarine–mangrove system of Puerto Tizal, Ecuador, assessing its usefulness as a bioindicator of heavy metal contamination. Four sampling zones were established, where biological and environmental samples were collected and analyzed using atomic absorption spectrometry in an accredited laboratory. In sediments, Cd concentrations ranged from 0.077 to 0.096 mg/kg and Hg from 0.056 to 0.082 mg/kg, with the highest values recorded in zone 3. Physicochemical parameters, including pH, conductivity, nitrates, nitrites, sulfates, copper, and iron, were also measured to characterize environmental conditions associated with bioaccumulation processes. Statistical analyses included ANOVA, Pearson correlations, and general linear models. Comparisons were performed between Cd and Hg concentrations in sediments and in the soft tissues of *Anadara tuberculosa*, revealing significant differences among sampling zones and associations with environmental variables, particularly salinity and temperature. Results confirmed the presence of both metals in sediments and organisms, as well as elevated concentrations of nitrates, nitrites, copper, and iron that in some cases exceeded international reference limits, suggesting anthropogenic influence on contamination dynamics in the area. It is concluded that *Anadara tuberculosa* is an effective bioindicator for environmental monitoring, providing relevant scientific information for environmental management, mangrove conservation, and the protection of public health in communities that depend on the consumption of this marine resource.

Keywords: *Anadara tuberculosa*; bioaccumulation; cadmium; mercury; sediments

CAPITULO 1: CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

La contaminación ambiental en los ecosistemas marinos, especialmente por metales pesados como el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg), representa un riesgo significativo tanto para la biodiversidad como para la salud humana. Estos metales, que ingresan a los cuerpos de agua a través de actividades industriales, agrícolas y mineras, se bioacumulan en los organismos marinos, afectando su fisiología y, en última instancia, a los consumidores humanos a través de la cadena alimentaria (González, 2018).

El cadmio y el mercurio son elementos altamente tóxicos que pueden generar graves efectos adversos sobre la salud humana. El cadmio por ejemplo puede afectar de manera significativa la función renal mientras que el mercurio es reconocido como un potente neurotóxico capaz de alterar el sistema nervioso central (Robles Urgilez, 2024). Las zonas costeras especialmente aquellas próximas a actividades industriales y agrícolas suelen presentar una mayor exposición a este tipo de contaminantes lo que hace que la monitorización ambiental sea una herramienta fundamental para evaluar los riesgos asociados a la contaminación por metales pesados (Santana Faubla, 2020).

Anadara tuberculosa comúnmente conocida como concha negra es un molusco bivalvo que habita en ecosistemas de manglar y presenta una alta capacidad de bioacumulación de metales pesados en sus tejidos esta característica la convierte en un bioindicador relevante para la evaluación de la contaminación por cadmio y mercurio en ambientes costeros (Carpio et al., 2021).

Investigaciones recientes han demostrado que esta especie resulta eficaz para el monitoreo de los niveles de contaminación en ecosistemas marinos ya que su capacidad de acumulación permite identificar de manera temprana posibles riesgos ambientales y para la salud pública (Pernía et al., 2019).

Puerto Tizal está ubicado en el cantón Pedernales provincia de Manabí el cual constituye una zona que debido a sus características geográficas y a la cercanía con diversas actividades humanas podría encontrarse expuesta a concentraciones elevadas de metales pesados (Parra Altamirano, 2017). La escasez de estudios específicos sobre los niveles de contaminación en esta área limita la formulación e implementación de políticas de manejo ambiental eficaces. En este contexto la evaluación de la presencia de cadmio y mercurio en *Anadara tuberculosa* permitirá no solo determinar el grado de contaminación existente en la localidad sino también generar información clave para la toma de decisiones orientadas a la protección de los recursos naturales y la salud de las comunidades locales.

Este estudio se centrará en la determinación de las concentraciones de cadmio y mercurio en *Anadara tuberculosa* en la localidad de Puerto Tizal, utilizando a esta especie como bioindicador de la contaminación en esta zona. La información resultante permitirá establecer un marco de referencia para la evaluación y control de la contaminación en áreas similares, contribuyendo a la conservación del ambiente y a la protección de la salud pública.

Los sedimentos marinos desempeñan un papel fundamental en la evaluación de la contaminación por metales pesados ya que funcionan como reservorios naturales de contaminantes

como el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg). Estos metales tienden a acumularse en los sedimentos como consecuencia de descargas de origen industrial, agrícola y urbano y pueden ser liberados nuevamente al medio acuático con el paso del tiempo afectando a organismos bentónicos como *Anadara tuberculosa* (Palate Cagua, 2021).

La interacción entre los sedimentos y la columna de agua resulta determinante para la biodisponibilidad de los metales pesados dado que las variaciones en las condiciones ambientales tales como el pH y la temperatura pueden favorecer la movilización y liberación de estos contaminantes hacia el agua incrementando la exposición de las especies marinas (González et al., 2018). En el caso de Puerto Tizal, la acumulación de metales pesados en los sedimentos es un factor determinante para evaluar el impacto ambiental en la zona y los riesgos asociados a la bioacumulación en *Anadara tuberculosa* (Izquierdo Pérez, 2024).

1.2 Planteamiento del problema

La ría de Puerto Tizal, en Pedernales, debería estar funcionando en equilibrio, permitiendo que las especies que habitan en sus aguas, como *Anadara tuberculosa*, se desarrollen en condiciones saludables y libres de contaminantes peligrosos. Sin embargo, la realidad es que actividades humanas, como las camaroneras y la industria, han generado un aumento en la liberación de metales pesados (Parra Altamirano, 2017). Estos elementos tóxicos se acumulan en los organismos marinos, poniendo en riesgo tanto a la fauna local como a las personas que consumen estos productos. Estudiar este fenómeno es de vital importancia ya que la presencia de estos contaminantes no solo pone en riesgo la biodiversidad marina, sino que también representa

una amenaza directa para la salud de las comunidades que dependen del mar como fuente de alimento y sustento diario.

El cadmio es un metal altamente tóxico que puede causar daños graves en los riñones y en los huesos mientras que el mercurio tiene efectos particularmente preocupantes sobre el desarrollo del sistema nervioso siendo especialmente peligroso para niños y mujeres embarazadas (OMS, 2020; OMS, 2017). En el caso de Puerto Tizal esta problemática se ve agravada por la escasez de estudios que cuantifiquen las concentraciones de estos metales en *Anadara tuberculosa* un molusco que constituye una fuente importante de alimento para las comunidades locales y que además actúa como bioindicador de la contaminación ambiental.

Además de los riesgos para la salud humana esta problemática implica importantes consecuencias económicas. La presencia de cadmio y mercurio puede afectar la pesca y la comercialización de *Anadara tuberculosa* un recurso clave para la economía local lo que podría derivar en la reducción de los ingresos de los pescadores y sus familias asimismo la posible contaminación de este recurso podría deteriorar la reputación de los productos marinos de la localidad afectando a largo plazo actividades como el turismo y el comercio.

Para enfrentar esta situación resulta esencial realizar un estudio que permita conocer con exactitud las concentraciones de cadmio y mercurio en los tejidos de *Anadara tuberculosa* en Puerto Tizal ya que los hallazgos de esta investigación servirían como una base científica confiable para tomar decisiones y diseñar estrategias que reduzcan la contaminación y a su vez cómo mejorar la regulación de las actividades industriales y agrícolas y establecer programas de monitoreo

ambiental continuo ya que de esta manera no solo se protegerían los valiosos recursos naturales de la región sino también la salud y el bienestar de las comunidades que dependen de ellos.

La propuesta planteada contribuiría a la protección de la salud pública al reducir los riesgos asociados al consumo de productos marinos contaminados. Favorecería la conservación de la biodiversidad y la sostenibilidad de los ecosistemas marinos garantizando que las futuras generaciones puedan aprovechar estos recursos de manera segura. Este estudio servirá como base para la aplicación de políticas ambientales más estrictas sustentadas en evidencia científica fortalecería la gestión ambiental local y ayudaría a prevenir futuros episodios de contaminación.

El papel de los sedimentos en la acumulación de metales pesados es un aspecto clave para comprender el impacto de la contaminación en los ecosistemas marinos los sedimentos actúan como una fuente continua de liberación de estos metales hacia el medio acuático incrementando la exposición de especies bentónicas como *Anadara tuberculosa* a estos contaminantes en este contexto la ausencia de un monitoreo sistemático de los sedimentos en Puerto Tizal representa un riesgo significativo tanto para la salud de las especies marinas como para las comunidades humanas que dependen de ellas. A largo plazo la acumulación de metales en los sedimentos puede perpetuar la contaminación incluso cuando se reduzcan las fuentes externas por lo que resulta indispensable incluir el análisis de sedimentos en cualquier plan de manejo y monitoreo ambiental de la región.

1.2.1 Definición de variables

1.2.1.1 Variable Independiente

Concentración de Metales Pesados (Cadmio y Mercurio)

1.2.1.2 Variable Dependiente

Salud de *Anadara tuberculosa* y de los sedimentos como bioindicadores de contaminación considerando aspectos como tamaño, condición biológica y características fisicoquímicas del sustrato.

1.2.1 Preguntas de investigación o hipótesis

¿Cuál es la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* y sedimentos en Puerto Tizal y cómo se relaciona esta concentración con los niveles de contaminación en el entorno?

H0: No hay diferencia significativa en la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* y en sedimentos en Puerto Tizal en comparación con los niveles de estos metales en el entorno.

H1: Las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en los tejidos de *Anadara tuberculosa* difieren significativamente de las concentraciones presentes en los sedimentos de Puerto Tizal, evidenciando procesos de bioacumulación y un nivel de contaminación ambiental en la zona de estudio.

1.3 Objetivos del proyecto

1.3.1 Objetivo general

Determinar la concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa* y sedimentos como bioindicador de contaminación en Puerto Tizal Pedernales 2025.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Determinar la concentración de cadmio y mercurio en las muestras de sedimentos (en Puerto Tizal).
2. Analizar la presencia de cadmio y mercurio en los tejidos blandos de *Anadara tuberculosa*, y evaluar su seguridad para el consumo humano.
3. Establecer la relación entre las concentraciones de cadmio y mercurio en sedimentos, y *Anadara tuberculosa*, obtenidas de las distintas estaciones de muestreo, con los parámetros fisicoquímicos, como pH, temperatura y salinidad.

1.4 Justificación del proyecto

La contaminación por metales pesados, como el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg), es un problema crítico en áreas de manglar y rías, donde los sedimentos pueden actuar como reservorios de estos contaminantes. En Puerto Tizal, una comunidad situada en una ría rodeada de manglares, los metales pesados presentes en los sedimentos y el agua tienen el potencial de bioacumularse en organismos clave como *Anadara tuberculosa*. Los moluscos recolectados en los ecosistemas de manglar no solo representan una fuente de alimento esencial para las comunidades locales, sino que también funcionan como bioindicadores valiosos de la contaminación ambiental gracias a su capacidad para acumular los contaminantes presentes en su entorno.

Por ello este estudio resulta fundamental para evaluar los niveles de cadmio y mercurio en la zona ya que la acumulación de estos metales pesados en *Anadara tuberculosa* y en los sedimentos puede tener consecuencias tanto para la salud de los ecosistemas como para la de las personas que dependen de estos recursos. En los ecosistemas de manglar los sedimentos desempeñan un papel clave al actuar como depósitos de contaminantes que pueden ser liberados de manera gradual al ambiente acuático afectando a las especies que habitan estos sistemas y posteriormente a los seres humanos que consumen dichos organismos.

Desde una perspectiva ecológica los manglares y rías constituyen ecosistemas frágiles y de alta importancia para la biodiversidad. El incremento en las concentraciones de cadmio y mercurio puede alterar el equilibrio natural de estos ambientes afectando a *Anadara tuberculosa* y a otras especies que dependen de estos hábitats además considerando que esta especie es recolectada para consumo humano resulta indispensable determinar los niveles de contaminación en los tejidos de los moluscos y en los sedimentos de los cuales son extraídos con el fin de garantizar la seguridad alimentaria de las comunidades locales.

En términos de salud pública este proyecto adquiere una relevancia significativa ya que los metales pesados son ampliamente reconocidos por sus efectos tóxicos en los seres humanos especialmente el cadmio que es asociado a daños renales y óseos y el mercurio está vinculado a alteraciones del sistema nervioso. La evaluación de las concentraciones de estos metales en *Anadara tuberculosa* permitirá identificar los riesgos potenciales para las personas que consumen estos moluscos de manera habitual y contribuirá a la formulación de recomendaciones orientadas a la protección de la salud comunitaria.

Desde el punto de vista económico la pesca de *Anadara tuberculosa* representa una fuente importante de ingresos para los habitantes de Puerto Tizal y la ausencia de control sobre la contaminación podría afectar la comercialización de este recurso generando repercusiones económicas significativas para las familias que dependen de esta actividad en este contexto la investigación contribuirá a asegurar la calidad de los productos marinos extraídos de la ría y a promover su sostenibilidad a largo plazo.

Diversos estudios han demostrado que los moluscos bivalvos y en particular *Anadara tuberculosa* son bioindicadores altamente sensibles para el monitoreo de la contaminación por metales pesados en ecosistemas estuarinos y de manglar y debido a su hábito filtrador y a su limitada movilidad estos organismos tienden a acumular contaminantes presentes tanto en el agua como en los sedimentos reflejando de forma directa las condiciones ambientales del entorno que habitan (Chalen Santos, 2022; Pernía et al., 2019). En este sentido su análisis permite obtener una visión integrada de la biodisponibilidad de metales como el cadmio y el mercurio la cual no siempre puede evidenciarse únicamente mediante el monitoreo del agua.

El cadmio ha sido reportado como un metal altamente tóxico incluso a bajas concentraciones con capacidad de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica lo que genera efectos severos tanto en organismos marinos como en la salud humana (Sinicropi et al., 2020). Por su parte el mercurio se caracteriza por su capacidad de transformarse en metilmercurio su forma más tóxica y fácilmente bioacumulable asociada a daños neurológicos y alteraciones del desarrollo especialmente en poblaciones vulnerables (OMS, 2017).

En Ecuador las investigaciones previas han reportado la presencia de estos metales en moluscos y sedimentos de sistemas costeros evidenciando una problemática creciente relacionada

con descargas antrópicas y actividades productivas desarrolladas en áreas cercanas a los manglares (González, 2018); Santana Faubla, 2020). Sin embargo, todavía existen pocos estudios centrados específicamente en comunidades como Puerto Tizal lo que evidencia la necesidad de realizar investigaciones que proporcionen información actualizada y adaptada al contexto local.

Este enfoque científico no solo fortalece nuestro conocimiento sobre la contaminación en ambientes estuarinos, sino que también sienta las bases para la gestión ambiental la conservación de la biodiversidad y la protección de la salud de las comunidades que dependen del consumo de *Anadara tuberculosa* como fuente de alimento.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Concha prieta (*Anadara tuberculosa*)

1.5.1.1 Taxonomía

Reino: Animalia

Filo: Mollusca

Clase: Bivalvia

Orden: Arcoida

Familia: Arcidae

Género: *Anadara*

Especie: *Anadara tuberculosa* (Carpio et al., 2021).

1.5.1.2 Morfología y características generales

Anadara tuberculosa, también llamada concha negra, prieta o piangua, es un bivalvo robusto de la familia Arcidae. Su concha presenta costillas radiales marcadas y protuberancias tuberculosas, que la protegen contra depredadores y condiciones adversas. Este bivalvo puede alcanzar tamaños de hasta 8 cm

en condiciones ambientales favorables sin embargo su tamaño presenta una variabilidad considerable en función de la disponibilidad de nutrientes y de las condiciones ecológicas del entorno. La concha de color negro o gris oscuro en su superficie externa y blanco nacarado en su interior está conformada por dos válvulas unidas mediante una bisagra dorsal robusta lo que le permite abrirse y cerrarse para proteger el tejido blando interno asimismo la estructura de sus válvulas se encuentra particularmente adaptada para la vida enterrada en sedimentos fangosos propios de los ecosistemas de manglar (Mendivil-Mendoza & Aragón-Noriega, 2024; Barzola Orrala, 2026).

1.5.1.3 Distribución y hábitat

Anadara tuberculosa está distribuida a lo largo de las costas del Pacífico desde Baja California, México, hasta el norte de Perú. Prefiere habitar en ecosistemas de manglar, enterrándose en los sedimentos blandos de las rías y estuarios, donde las raíces del mangle, especialmente el mangle rojo (*Rhizophora mangle*), crean un hábitat protector y una fuente constante de alimento orgánico. Este tipo de sedimento le ofrece un ambiente propicio, ya que, al ser blando, facilita su alimentación filtrada y le da refugio contra depredadores y fluctuaciones de salinidad. La especie es fundamental en la estructura y dinámica de los ecosistemas de manglar, ya que sus actividades de filtración contribuyen a la calidad del agua y promueven la biodiversidad al mantener el equilibrio de nutrientes (Prado Carpio et al., 2021)

1.5.1.4 Fisiología y adaptaciones

Anadara tuberculosa posee adaptaciones notables que le permiten prosperar en ambientes de baja oxigenación, como los sedimentos fangosos de manglares. Sus branquias le permiten absorber el oxígeno disuelto y filtrar las partículas de alimento en condiciones de hipoxia, donde otros organismos podrían tener dificultades para sobrevivir. Su fisiología se encuentra adaptada para tolerar amplias variaciones de salinidad lo que le permite habitar zonas de transición donde se mezclan aguas dulces y saladas asimismo

presenta un sistema circulatorio de tipo abierto el cual facilita la distribución de nutrientes y oxígeno incluso bajo condiciones ambientales extremas esta capacidad de adaptación resulta fundamental para la supervivencia de *Anadara tuberculosa* en los ecosistemas de manglar caracterizados por constantes fluctuaciones en la salinidad, la temperatura y los niveles de oxígeno disuelto (Lionetto et al., 2021; Mendivil-Mendoza & Aragón-Noriega, 2024).

1.5.1.5 Alimentación

Como molusco filtrador, *Anadara tuberculosa* se alimenta de fitoplancton, microalgas y partículas orgánicas suspendidas en el agua. Este comportamiento de filtración es beneficioso para su hábitat, ya que ayuda a reducir la materia orgánica en suspensión, promoviendo una mayor claridad del agua. Su sistema de alimentación le permite extraer nutrientes esenciales de ambientes ricos en materia orgánica, como los manglares. Este hábito de alimentación, sin embargo, también implica que esté expuesto a contaminantes presentes en el agua y los sedimentos, lo que aumenta su vulnerabilidad a la bioacumulación de metales pesados, incluyendo el cadmio y el mercurio (Mendivil-Mendoza & Aragón-Noriega, 2024; Prado Carpio et al., 2021)

1.5.1.6 Comportamiento y reproducción

La reproducción de *Anadara tuberculosa* es de tipo sexual y se lleva a cabo mediante la liberación de gametos al agua, donde se produce la fertilización externa. Tras la fecundación las larvas atraviesan una fase planctónica durante la cual permanecen en suspensión en la columna de agua antes de asentarse sobre el sustrato y desarrollarse como juveniles en esta etapa larvaria se favorece la dispersión de la especie y contribuye a la conectividad de sus poblaciones a lo largo de las zonas costeras del manglar y las tasas de crecimiento junto con el momento de madurez de *Anadara tuberculosa* están influenciados por factores ambientales como la temperatura y la disponibilidad de nutrientes alcanzando la madurez sexual a un tamaño aproximado de 32 mm. Esta especie suele formar agregaciones o colonias en áreas ricas en materia

orgánica, y sus hábitos de vida sedentarios la hacen altamente dependiente de la calidad del sustrato y del agua en su entorno inmediato (Barzola Orrala, 2026)

1.5.1.7 Importancia ecológica y económica

Anadara tuberculosa tiene un valor significativo para el ecosistema y para las comunidades humanas. Ecológicamente, este molusco desempeña un papel esencial en los manglares al participar en la filtración y reciclaje de nutrientes, ayudando a mantener la calidad del agua y la biodiversidad del manglar. Económicamente, es fundamental en la dieta y en la economía de las comunidades costeras de Ecuador, especialmente en zonas como Esmeraldas y El Oro, donde su recolección y comercialización proporcionan ingresos a miles de familias. La especie es un recurso de sustento importante, siendo parte de la gastronomía local y de la cultura, así como una fuente de proteína accesible para comunidades rurales (Prado Carpio et al., 2021)

1.5.1.8 Amenazas y desafíos de conservación

Anadara tuberculosa enfrenta diversas amenazas principalmente vinculadas a las actividades humanas entre ellas está la contaminación por metales pesados la cual constituye una de las principales preocupaciones ya que este molusco debido a su hábito alimenticio filtrador tiende a acumular sustancias tóxicas presentes en los sedimentos como el cadmio y mercurio y la bioacumulación de estos metales no solo afecta la salud y supervivencia de *A. tuberculosa* sino que también representa un riesgo potencial para las comunidades que dependen de este recurso como fuente de alimento. Además, la destrucción y alteraciones de los manglares debido a la expansión de la acuicultura, el turismo y la agricultura han reducido considerablemente su hábitat natural. Esto, sumado a la sobreexplotación, amenaza la sostenibilidad de sus poblaciones y pone en riesgo la seguridad alimentaria y económica de las comunidades que dependen de su recolección (Lionetto et al., 2021; Mendivil-Mendoza & Aragón-Noriega, 2024)

Para la conservación de *Anadara tuberculosa*, es esencial proteger los ecosistemas de manglar mediante políticas que regulen su uso y aseguren prácticas de recolección sostenibles. La implementación de programas de monitoreo de la calidad del agua y de los sedimentos resulta fundamental para la detección temprana y mitigación de la contaminación por metales pesados y otros contaminantes asimismo el establecimiento de áreas protegidas y la aplicación de regulaciones sobre el uso y aprovechamiento de los recursos del manglar pueden contribuir de manera significativa a la conservación de esta especie y de su ecosistema y de igual manera el fortalecimiento de la educación ambiental y la sensibilización de las comunidades locales constituyen elementos clave para fomentar prácticas de recolección responsable y una gestión sostenible de los recursos de manglar (Prado Carpio et al., 2021).

1.5.2 Talla mínima legal de extracción y comercialización de Anadara tuberculosa en Ecuador

En Ecuador, la talla mínima legal para la extracción y comercialización de *Anadara tuberculosa* está establecida en 45 milímetros (4,5 cm), medidos desde el borde anterior hasta el borde posterior de las valvas. Esta regulación fue formalizada mediante el Acuerdo Ministerial No. 170, publicado en el Registro Oficial No. 453 el 14 de noviembre de 2001. Posteriormente, el Acuerdo Ministerial No. 149, publicado en el Registro Oficial No. 412 el 27 de agosto de 2008, suspendió la veda extractiva y reafirmó el control basado en la talla mínima de 45 mm para las especies *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* (Acuerdo Ministerial No. 149, 2008).

1.5.2.1 Importancia de la talla mínima

Establecer una talla mínima de captura es fundamental para asegurar que los individuos de *Anadara tuberculosa* alcancen la madurez sexual y se reproduzcan al menos una vez antes de ser recolectados.

Estudios indican que la talla media de madurez sexual (TMM) de esta especie es de aproximadamente 44 mm, lo que respalda la normativa vigente de 45 mm como una medida adecuada para su conservación (Vega, 2021).

1.5.2.2 Cumplimiento y desafíos

A pesar de la existencia de estas regulaciones, se han documentado casos de incumplimiento en diversas comunidades costeras. Por ejemplo, un estudio realizado en las comunidades de Bunche y Bolívar, en el cantón Muisne, provincia de Esmeraldas, reveló que las tallas promedio de las conchas recolectadas estaban por debajo de la talla mínima legal, con promedios de 43,46 mm en Bunche y 53,08 mm en Bolívar durante el mes de julio (Moreno, 2018).

Asimismo, investigaciones en el Archipiélago de Jambelí han mostrado que un alto porcentaje de los ejemplares recolectados se encuentran por debajo de la talla mínima establecida, lo que indica una presión pesquera significativa y la necesidad de fortalecer las medidas de control y concienciación (Carpio et al., 2020).

1.5.2.3 Comparativa regional

A nivel regional, otros países también han establecido tallas mínimas para la captura de *Anadara tuberculosa*. En Colombia, la talla mínima legal es de 50 mm, según la Resolución 0539 de 2000 del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura. En Perú, la Resolución Ministerial N.º 209-2001-PE establece una talla mínima de 45 mm para esta especie (Ministerio de la Producción del Perú, 2001). Estas medidas reflejan un consenso regional sobre la importancia de regular las tallas de captura para la sostenibilidad del recurso.

1.5.3 Cadmio (Cd)

1.5.3.1 Características y Toxicidad

El cadmio es un metal pesado de transición, no esencial para los organismos vivos y altamente tóxico en concentraciones elevadas. Naturalmente, se encuentra en la corteza terrestre en cantidades pequeñas, pero su presencia en el ambiente ha aumentado significativamente debido a actividades humanas como la minería, la combustión de combustibles fósiles, la producción de baterías, la fabricación de plásticos y la industria de electrochapado. En agricultura, los fertilizantes fosfatados son una fuente relevante de cadmio, ya que estos productos derivados de rocas fosfatadas pueden contener cadmio que luego se acumula en los suelos, afectando los cultivos y la biodiversidad (UNEP, 2022; Qu & Zheng, 2024)

1.5.3.2 Impacto en la salud humana

El cadmio es altamente tóxico para los humanos, especialmente por su tendencia a acumularse en órganos como los riñones y los huesos, lo que puede llevar a daños renales graves y osteoporosis. Este metal puede ingresar al organismo principalmente a través de la ingestión de alimentos contaminados como vegetales y mariscos así como por la inhalación de polvo y humos presentes en áreas industriales y una vez incorporado al cuerpo el cadmio presenta una vida media prolongada estimada entre 15 y 30 años lo que favorece su acumulación en los tejidos y la aparición de efectos crónicos a largo plazo además el cadmio se encuentra clasificado como carcinógeno del grupo I con una asociación particular al desarrollo de cáncer de pulmón cuando la exposición ocurre por inhalación en entornos industriales. La exposición crónica a bajas dosis puede provocar daños en el sistema cardiovascular y respiratorio, además de alteraciones neurológicas y reproductivas (Sinicropi et al., 2020; PNUMA, 2022).

1.5.3.3 Efectos del Cadmio en Ecosistemas Acuáticos y Terrestres

En los suelos agrícolas, el cadmio se acumula a través de la aplicación de fertilizantes fosfatados y residuos industriales, afectando la calidad del suelo y la salud de las plantas, que absorben el metal y pueden pasarlo a la cadena alimentaria. Las plantas expuestas a cadmio presentan una disminución en el crecimiento la actividad fotosintética y la producción de biomasa. En los ecosistemas acuáticos este metal se encuentra en forma soluble y puede ser absorbido por organismos filtradores como moluscos y peces acumulándose en sus tejidos y generando alteraciones en su metabolismo y en sus procesos reproductivos estos efectos pueden amplificarse a lo largo de la cadena trófica afectando tanto a los depredadores de estas especies como a los seres humanos que consumen dichos organismos. Además, en ambientes marinos y de manglares, el cadmio puede persistir en los sedimentos y representar una fuente continua de exposición para especies bentónicas y para los organismos que interactúan con estos sedimentos, como *Anadara tuberculosa* (Qu & Zheng, 2024; UNEP, 2022).

1.5.3.4 Regulación y Prevención de la Contaminación por Cadmio

Dada su toxicidad y persistencia, organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) han establecido límites seguros para la exposición al cadmio en alimentos y agua, especialmente a través de regulaciones en el Codex Alimentarius. La Unión Europea y otras jurisdicciones han implementado normativas estrictas orientadas al control de las emisiones de cadmio promoviendo su reducción en el uso de fertilizantes con elevados contenidos de este metal en este contexto las estrategias de prevención como la disminución de las fuentes de contaminación y la adopción de prácticas agrícolas sostenibles resultan fundamentales para limitar la incorporación de cadmio al ambiente y evitar su acumulación a lo largo de la cadena alimentaria (PNUMA, 2022).

1.5.4 Mercurio (Hg)

1.5.4.1 Características y Toxicidad

El mercurio es un metal pesado altamente tóxico y persistente en el ambiente. Se encuentra en diversas formas: elemental (o metálico), inorgánico (compuestos mercuriales) y orgánico, siendo el metilmercurio la forma orgánica más peligrosa debido a su capacidad de bioacumulación en organismos acuáticos. Naturalmente presente en la corteza terrestre, el mercurio es liberado al ambiente mediante erupciones volcánicas y la erosión de rocas, pero la principal fuente de contaminación proviene de actividades humanas como la minería, la combustión de carbón y la producción de cemento (OMS, 2024; PNUMA, 2022).

1.5.4.2 Impacto en la salud humana

La toxicidad del mercurio varía según su forma. El metilmercurio, que se acumula en peces y mariscos, es especialmente dañino para la salud humana. Su consumo puede llevar a efectos neurológicos graves, afectando el desarrollo cerebral en fetos y niños pequeños, con síntomas como temblores, insomnio, pérdida de memoria y disminución de habilidades motoras y cognitivas. Las mujeres embarazadas y los niños son particularmente vulnerables debido a los efectos en el sistema nervioso en desarrollo. Además, la inhalación de vapores de mercurio metálico, común en contextos industriales y mineros, puede afectar los riñones y el sistema inmunológico, produciendo daños crónicos (WHO, 2024; USGS, 2021).

1.5.4.3 Impacto ambiental

El mercurio es un contaminante global debido a su volatilidad y capacidad para ser transportado largas distancias en la atmósfera. En los ecosistemas acuáticos, las bacterias transforman el mercurio en metilmercurio, que es altamente tóxico y se bioacumula a través de la cadena alimentaria, afectando a peces, aves y mamíferos. Este proceso de biomagnificación significa que los niveles de mercurio pueden ser hasta

10 millones de veces más altos en los organismos de niveles tróficos superiores en comparación con los niveles en el agua. La contaminación por mercurio amenaza a especies acuáticas y terrestres, alterando la reproducción, el crecimiento y la supervivencia en diversas especies de flora y fauna (UNEP, 2022; USGS, 2021).

1.5.4.4 Medidas de Regulación y Prevención

La Convención de Minamata implementada en 2017 constituye el principal tratado internacional orientado a la reducción de la contaminación por mercurio este acuerdo tiene como objetivo eliminar el uso de mercurio en determinados productos y disminuir su aplicación en actividades como la minería y otras industrias. Entre las estrategias de prevención se incluyen la transición hacia fuentes de energía limpia que no dependan de la combustión de carbón, así como la implementación de tecnologías alternativas en los procesos mineros la reducción de las emisiones de mercurio resulta esencial para la protección de la biodiversidad y para disminuir la exposición humana especialmente en comunidades que dependen del consumo de mariscos y otros organismos acuáticos (PNUMA, 2022).

1.5.5 Contaminación por metales pesados en ecosistemas marinos

La contaminación por metales pesados es uno de los problemas más serios que afectan a los ecosistemas marinos a nivel global. Elementos como el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) son particularmente peligrosos debido a su alta toxicidad, su persistencia en el medio ambiente y su capacidad de bioacumulación en los organismos. Estos metales se liberan al ambiente acuático a través de actividades antropogénicas como la minería, la industria y la agricultura, así como por la descarga de aguas residuales no tratadas (Pernía et al., 2018). En Ecuador las áreas de manglar y ría como Puerto Tizal son especialmente vulnerables a la acumulación de metales pesados debido

a la interacción constante entre el agua los sedimentos y las especies que habitan estos ecosistemas lo que favorece los procesos de bioacumulación y persistencia de contaminantes en el ambiente.

Los metales pesados presentan características que los convierten en contaminantes de alta preocupación ambiental. El cadmio en particular es un elemento altamente tóxico que puede afectar de manera grave la función renal y el sistema óseo en los seres humanos (González et al., 2018). Por otro lado, el mercurio, es un neurotóxico que puede causar daños severos en el sistema nervioso, especialmente en niños y mujeres embarazadas (Lionetto et al., 2021). Estas propiedades hacen que los metales pesados sean una amenaza no solo para la vida marina, sino también para las comunidades humanas que dependen de los recursos acuáticos contaminados.

1.5.5.1 Sedimentos marinos como reservorios de contaminación

En las zonas costeras y en los estuarios, como los que se encuentran en Puerto Tizal, los sedimentos juegan un papel crucial como reservorios de metales pesados. Estos sedimentos actúan como depósitos naturales de contaminantes almacenando metales que pueden ser liberados nuevamente al medio acuático en función de las condiciones fisicoquímicas del entorno tales como variaciones en el pH, la salinidad y la temperatura del agua (Pernía et al., 2018). Asimismo, los sedimentos influyen directamente en la biodisponibilidad de los metales condicionando la capacidad de los organismos para absorber y acumular estos contaminantes (Prado-Carpio et al., 2021).

La acumulación de metales pesados en los sedimentos es un proceso influenciado por diversos factores entre ellos la cercanía a las fuentes de contaminación la composición del sedimento y la dinámica de las corrientes. Estudios realizados en distintas zonas de Ecuador han

evidenciado que los sedimentos ubicados en áreas con elevada actividad industrial o agrícola presentan concentraciones significativamente más altas de cadmio y mercurio (González et al., 2018). Esta acumulación a largo plazo aumenta el riesgo de bioacumulación en organismos marinos que interactúan con estos sedimentos.

1.5.5.2 Bioacumulación de metales pesados en *Anadara tuberculosa*

La bioacumulación es el proceso por el cual los organismos absorben y retienen contaminantes presentes en el ambiente, como los metales pesados. En el caso de *Anadara tuberculosa*, este molusco bivalvo es particularmente susceptible a la acumulación de metales pesados debido a su hábito alimentario filtrador y su estrecha relación con los sedimentos donde habita. *Anadara tuberculosa*, también conocida como concha negra, ha sido ampliamente utilizada como bioindicador de contaminación en ecosistemas marinos debido a su capacidad para acumular Cd y Hg en sus tejidos (Lionetto et al., 2021).

Los estudios realizados en Ecuador sobre la bioacumulación de metales pesados en *Anadara tuberculosa* han demostrado que este molusco constituye como un indicador eficaz de los niveles de contaminación presentes tanto en el agua como en los sedimentos (Prado-Carpio et al., 2021). Las concentraciones de cadmio y mercurio en los tejidos de *A. tuberculosa* suelen presentar una correlación directa con los niveles de estos metales en los sedimentos de las zonas donde habita la especie esta situación resulta especialmente preocupante en áreas como Puerto Tizal donde la interacción entre las actividades humanas y el ecosistema de manglar incrementa la probabilidad de contaminación por metales pesados.

1.5.5.3 Impactos ambientales y en la salud humana

Los efectos de la contaminación por metales pesados en los ecosistemas marinos van más allá de la bioacumulación en los organismos individuales. Estos metales pueden afectar la biodiversidad y alterar el equilibrio de los ecosistemas, reduciendo la capacidad de las especies para sobrevivir y reproducirse (González et al., 2018). Los organismos que habitan en los sedimentos contaminados pueden sufrir de toxicidad aguda o crónica, lo que puede llevar a la reducción de las poblaciones de especies clave y, en última instancia, a la degradación del ecosistema.

Además, la contaminación por metales pesados tiene importantes implicaciones para la salud pública ya que el consumo de organismos marinos contaminados como *Anadara tuberculosa* puede exponer a las personas a niveles peligrosos de cadmio y mercurio. En Ecuador donde el consumo de mariscos es habitual en muchas comunidades costeras este riesgo adquiere especial relevancia (Mendoza Angulo, 2014). La exposición a estos metales puede generar diversos problemas de salud que van desde daños en los riñones y los huesos hasta efectos neurológicos graves (Lionetto et al., 2021).

1.5.5.4 El papel de los manglares en la mitigación de la contaminación

Los manglares juegan un rol fundamental en la mitigación de la contaminación en áreas costeras. Estos ecosistemas, compuestos por una densa vegetación, actúan como filtros naturales que capturan y retienen contaminantes, incluyendo metales pesados, en los sedimentos que los rodean. Además, los manglares proporcionan hábitat a diversas especies marinas, como *Anadara tuberculosa*, que interactúan estrechamente con estos sedimentos. Los estudios realizados en

Ecuador han evidenciado que los ecosistemas de manglar poseen una alta capacidad para retener concentraciones elevadas de metales pesados lo que los convierte en un componente clave en el control y la regulación de la contaminación en ambientes acuáticos (González et al., 2018).

La capacidad de los manglares para absorber y retener contaminantes se encuentra estrechamente relacionada con la dinámica de los sedimentos y la estructura de la vegetación de manglar. Los sedimentos asociados a las raíces de los manglares conocidas como raíces neumatóforas actúan como trampas naturales de contaminantes reteniendo metales pesados y limitando su dispersión en la columna de agua lo que contribuye a reducir su movilidad dentro del ecosistema. Esto también puede reducir los niveles de metales disponibles para la bioacumulación en organismos acuáticos, como *Anadara tuberculosa* (Pernía et al., 2018). Sin embargo, cuando los niveles de contaminación superan la capacidad de retención de los manglares, los metales pesados pueden filtrarse al ambiente acuático, afectando la salud de los organismos que habitan en esos sedimentos.

1.5.5.5 Factores que afectan la bioacumulación de metales pesados

La bioacumulación de metales pesados en los organismos marinos está influenciada por diversos factores ambientales y biológicos entre los factores ambientales más relevantes se encuentran las características fisicoquímicas del agua y de los sedimentos tales como el pH, la salinidad y la temperatura las cuales condicionan la disponibilidad de los metales para ser absorbidos por los organismos (Lionetto et al., 2021). Por ejemplo, valores bajos de pH pueden incrementar la solubilidad de metales como el cadmio facilitando su incorporación y acumulación en los tejidos de los moluscos (Pernía et al., 2018).

Por otro lado, los factores biológicos desempeñan un papel determinante en los procesos de bioacumulación. La tasa de filtración y el tipo de dieta de los organismos influyen directamente en su capacidad para incorporar contaminantes *Anadara tuberculosa* al ser un molusco filtrador que obtiene su alimento a partir de partículas suspendidas en el agua absorbe simultáneamente los metales pesados presentes tanto en el agua como en los sedimentos lo que favorece su acumulación progresiva en los tejidos (Prado-Carpio et al., 2021). Además, la edad y el tamaño del organismo pueden influir en los niveles de bioacumulación, ya que los organismos más grandes y viejos tienden a acumular más metales debido a su mayor tiempo de exposición.

1.5.5.6 Consecuencias ecológicas de la contaminación por metales pesados

La acumulación de metales pesados en los ecosistemas acuáticos no solo afecta a las especies individuales, sino que también tiene repercusiones en toda la estructura y el funcionamiento del ecosistema. Los metales pesados pueden interferir de manera significativa en los procesos biológicos y reproductivos de los organismos acuáticos reduciendo su capacidad para sobrevivir y desarrollarse adecuadamente (González et al., 2018). En el caso de *Anadara tuberculosa* concentraciones elevadas de cadmio y mercurio pueden afectar su crecimiento y su capacidad reproductiva lo que podría generar efectos en cascada sobre las redes tróficas del ecosistema de manglar.

Asimismo, los organismos que acumulan altos niveles de metales pesados pueden actuar como vectores de transferencia de estos contaminantes a lo largo de la cadena alimentaria afectando a los depredadores que se alimentan de ellos y ampliando el impacto de la contaminación a niveles tróficos superiores. Esto es especialmente preocupante en áreas como Puerto Tizal, donde los mariscos forman una parte importante de la dieta de las comunidades locales. La

bioacumulación de cadmio y mercurio en *Anadara tuberculosa* podría poner en riesgo la salud humana, ya que estos metales son tóxicos incluso en bajas concentraciones y pueden causar una variedad de problemas de salud, incluyendo enfermedades renales y daños neurológicos (Mendoza Angulo, 2014).

1.5.5.7 Regulaciones y estrategias para el manejo de la contaminación por metales pesados

En Ecuador, las regulaciones ambientales establecen límites permisibles para la presencia de metales pesados en los sedimentos y el agua. Sin embargo, a pesar de la existencia de normativas la falta de monitoreo y de control efectivo ha permitido que la contaminación por cadmio y mercurio continúe siendo un problema en muchas áreas costeras (Pernía et al., 2018) por esta razón la implementación de estrategias de manejo ambiental es crucial para disminuir los efectos de esta contaminación en ecosistemas tan sensibles como los manglares de Puerto Tizal.

Una de las estrategias más efectivas para enfrentar la contaminación por metales pesados es el uso de especies bioindicadoras como *Anadara tuberculosa* que permiten monitorear los niveles de metales en los ambientes acuáticos (Lionetto et al., 2021) ya que estos organismos reflejan de manera directa las condiciones del entorno y facilitan identificar cambios en la calidad del agua y de los sedimentos con el tiempo además es fundamental desarrollar planes de manejo que incluyan la restauración de los manglares y la reducción de fuentes de contaminación como el uso de fertilizantes y pesticidas que contienen metales pesados.

1.5.6 *Limites permisibles de Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg)*

1.5.6.1 **Sedimento (Lodo del manglar)**

La evaluación de la calidad de los sedimentos permite identificar niveles de riesgo ambiental asociados a la presencia de metales pesados y su posible impacto sobre la biota acuática. En este sentido, se han reportado valores de referencia para la interpretación de concentraciones en sedimentos, como 0,7 mg/kg para cadmio y 0,13 mg/kg para mercurio en niveles guía iniciales, y 4,2 mg/kg y 0,70 mg/kg respectivamente en niveles asociados a efectos probables sobre los organismos. La comparación de estos rangos con los resultados obtenidos permite contextualizar el grado de contaminación presente en el área de estudio. Becerra (2020) señala que la presencia de metales pesados en sedimentos, incluso en concentraciones relativamente bajas, puede constituir una fuente continua de exposición para la biota bentónica, especialmente cuando las condiciones ambientales favorecen su disponibilidad y acumulación progresiva en el ecosistema.

Estas directrices permiten clasificar los sedimentos según su potencial de causar efectos adversos en los organismos bentónicos, diferenciando niveles de baja, moderada o alta probabilidad de impacto en función de las concentraciones de metales presentes. En este contexto, Quispe Yana et al. (2019) señalan que la evaluación de metales pesados en sedimentos superficiales constituye una herramienta fundamental para determinar el grado de riesgo ecológico, ya que permite identificar posibles efectos sobre la biota acuática asociados a la acumulación y persistencia de estos contaminantes en el ambiente.

1.5.6.2 Concha prieta (*Anadara tuberculosa*)

La Unión Europea, mediante el Reglamento (UE) 2023/915, establece los límites máximos permisibles para metales pesados en productos alimenticios, incluyendo los moluscos bivalvos.

Según esta norma, el contenido máximo de cadmio en moluscos no debe exceder los 1,0 mg/kg, mientras que el de mercurio no debe superar los 0,5 mg/kg (Garofalo et al., 2025).

Superar estos valores representa un riesgo potencial para la salud humana, especialmente en comunidades que dependen del consumo frecuente de productos marinos contaminados.

1.5.7 Límites permisibles de parámetros fisicoquímicos y elementos traza en sedimento

Además de los metales pesados como el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg), otros parámetros fisicoquímicos y elementos traza como la conductividad, pH, nitratos, nitritos, sulfatos, cobre (Cu) y hierro (Fe) también son fundamentales para evaluar la calidad de los sedimentos estuarinos y marino-costeros. Estos indicadores permiten detectar perturbaciones por descargas domésticas, agrícolas o industriales que pueden afectar la biodiversidad bentónica y la salud humana (Quispe Yana et al. 2019).

En la práctica, la interpretación de la calidad de los sedimentos se realiza a partir de valores de referencia que permiten estimar el potencial impacto de los metales pesados sobre la biota bentónica. De manera operativa, concentraciones bajas suelen asociarse con una menor probabilidad de generar efectos biológicos adversos, mientras que niveles intermedios o elevados pueden indicar un mayor riesgo ecológico y la necesidad de evaluaciones complementarias. En este sentido, la evaluación de metales en sedimentos constituye una herramienta clave para identificar posibles impactos ambientales y orientar acciones de monitoreo y gestión. Quispe Yana et al. (2019) señalan que la presencia y acumulación de metales pesados en sedimentos superficiales debe analizarse considerando su persistencia, biodisponibilidad y potencial

incorporación en la cadena trófica, ya que estos factores determinan el nivel real de riesgo para los organismos bentónicos y el ecosistema acuático.

Adicionalmente la interpretación de estos límites debe considerar los factores ambientales que influyen en la movilidad y biodisponibilidad de los contaminantes tales como la granulometría el contenido de carbono orgánico total el pH, la salinidad, el potencial redox y la presencia de sulfuros. En ecosistemas estuarinos las fluctuaciones mareales y la estacionalidad climática asociadas a periodos de lluvias y estiaje modifican estos gradientes lo que puede favorecer la inmovilización de metales bajo condiciones reductoras o su movilización ante cambios en el pH y la salinidad. Estos procesos influyen directamente en la transferencia de contaminantes hacia la biota lo que justifica el uso complementario de bioindicadores como *Anadara tuberculosa* para establecer una relación entre la disponibilidad ambiental de los metales y la exposición trófica (Kennish, 2002; EPA, 2001/2002; Doney et al., 2020).

1.5.7.1 Conductividad

La conductividad eléctrica en sedimentos refleja la concentración de sales disueltas. En sistemas estuarinos, los valores normales oscilan entre 30 y 60 ms/cm, dependiendo de la salinidad del agua circundante. Valores significativamente superiores pueden estar relacionados con procesos de intrusión salina, acumulación de lixiviados o materia orgánica en descomposición, lo que altera la estructura microbiana del sedimento y puede afectar negativamente a la fauna bentónica (Kennish, 2002).

Estudios recientes han evidenciado que un aumento excesivo de la conductividad se asocia con el ingreso de contaminantes de origen agrícola y urbano lo que no solo altera la calidad del sedimento, sino que también modifica los procesos biogeoquímicos que regulan la

biodisponibilidad de nutrientes y metales (Basu et al., 2022). Una conductividad elevada suele estar relacionada con incrementos en las concentraciones de cloruros, sulfatos y otros iones disueltos lo que puede generar condiciones de estrés osmótico en los organismos bentónicos y afectar su supervivencia y funcionamiento fisiológico.

Asimismo, la conductividad elevada en ambientes estuarinos ha sido relacionada con procesos de degradación del manglar, debido a que altera la dinámica de las raíces y afecta la retención de nutrientes en los suelos. Esto, a largo plazo, compromete tanto la biodiversidad marina como los servicios ecosistémicos que proveen los estuarios (Feller et al., 2021).

1.5.7.2 pH

El pH en ambientes marino-estuarinos saludables suele situarse entre 7,0 y 8,5. Dentro de este rango se favorece la disponibilidad de nutrientes y se mantiene la estabilidad de las formas químicas de los metales pesados. Cuando los valores de pH se encuentran fuera de este intervalo puede incrementarse la movilidad de metales tóxicos o verse alterados los ciclos biogeoquímicos esenciales para el funcionamiento del ecosistema (EPA, 2002).

Asimismo, cambios bruscos en el pH han sido asociados con procesos de acidificación costera un fenómeno que influye directamente en la solubilidad de metales como el cadmio y el mercurio aumentando su biodisponibilidad y por ende su toxicidad para organismos filtradores (Doney et al., 2020). En particular, la disminución del pH incrementa la biodisponibilidad de estos contaminantes, facilitando su incorporación a la cadena trófica.

De igual forma, la variación del pH influye en la composición de comunidades microbianas en el sedimento, modificando procesos de nitrificación y desnitrificación. Esto repercute en la

calidad del hábitat y en el equilibrio de los ciclos biogeoquímicos esenciales para la productividad de los sistemas estuarinos (Yao et al., 2021).

1.5.7.3 Nitratos y nitritos

Los nitratos (NO_3^-) son nutrientes esenciales, pero en exceso causan eutrofización, lo que disminuye el oxígeno disponible en el sedimento. La EPA establece que concentraciones superiores a 10 mg/l ya representan un riesgo ambiental importante (EPA, 2018). En cuanto a los nitritos (NO_2^-), son intermedios en el ciclo del nitrógeno y se consideran peligrosos en concentraciones superiores a 1 mg/l, dado que reflejan una oxidación incompleta de la materia orgánica y pueden ser tóxicos incluso en pequeñas dosis (EPA, 2018).

Estudios realizados en sistemas tropicales han evidenciado que concentraciones elevadas de nitratos y nitritos se asocian directamente con descargas de origen agrícola y urbano. Estas entradas de nutrientes intensifican los procesos de eutrofización y aumentan el riesgo de mortalidad en organismos bentónicos además de favorecer condiciones de hipoxia en el sedimento lo que puede modificar significativamente la estructura y composición de las comunidades biológicas (Camargo & Alonso, 2017).

Por otra parte, los nitritos presentan una toxicidad directa al interferir con los mecanismos de oxigenación de los organismos acuáticos ya que inducen la formación de metahemoglobina. Este proceso reduce la capacidad de transporte de oxígeno en los tejidos comprometiendo funciones fisiológicas esenciales y afectando la supervivencia de las especies expuestas. Esto representa un riesgo no solo ecológico, sino también sanitario, en zonas donde moluscos como *Anadara tuberculosa* forman parte de la dieta humana (Zhao et al., 2020).

1.5.7.4 Sulfatos

Los sulfatos (SO_4^{2-}) son abundantes de forma natural en ambientes marinos, y su presencia no representa un riesgo directo en concentraciones bajas. Sin embargo, niveles elevados pueden dar lugar a la formación de sulfuros tóxicos como el sulfuro de hidrógeno (H_2S) bajo condiciones anaerobias, lo que impacta negativamente a organismos filtradores y a la fauna bentónica (Kennish, 2002).

Investigaciones recientes indican que la reducción bacteriana de sulfatos en sedimentos enriquecidos con materia orgánica genera grandes cantidades de H_2S , lo que reduce la oxigenación de los estratos y afecta procesos de regeneración natural de nutrientes (Muyzer & Stams, 2008). Esto convierte a los sulfatos en un indicador indirecto de contaminación orgánica y degradación ambiental.

Asimismo, los altos niveles de sulfatos han sido vinculados con la pérdida de biodiversidad bentónica en sistemas costeros tropicales, debido a la toxicidad de los productos de reducción anaerobia y su impacto sobre la cadena alimenticia (Holmer & Bondgaard, 2001).

1.5.7.5 Cobre (Cu)

El cobre es un metal traza esencial en pequeñas cantidades; sin embargo, a concentraciones elevadas puede generar efectos tóxicos en los organismos acuáticos. En sedimentos, se han reportado valores de referencia para evaluar su posible impacto ecológico, como 35,7 mg/kg correspondientes al umbral de efectos adversos (TEL) y 197 mg/kg asociados al umbral de efectos probables (PEL). La presencia de concentraciones que se sitúan entre ambos rangos puede indicar una probabilidad de efectos negativos sobre organismos bentónicos sensibles, especialmente bajo condiciones de exposición prolongada. En este sentido, Quispe Yana et al. (2019) señalan que la

acumulación de metales pesados en sedimentos superficiales representa una fuente potencial de riesgo ecológico para la biota acuática, ya que estos contaminantes pueden incorporarse a la cadena trófica y generar efectos subletales y crónicos en los organismos asociados al fondo.

En ambientes estuarinos, el cobre proviene principalmente de descargas industriales, antifouling de embarcaciones y actividades agrícolas. Su acumulación en sedimentos ha sido asociada con efectos enzimáticos y daños en la fisiología de organismos filtradores como bivalvos (Bielmyer et al., 2012).

El exceso de cobre también puede alterar la actividad microbiana de los sedimentos, afectando la descomposición de materia orgánica y el ciclo del nitrógeno. Esto refuerza su importancia como indicador de impacto antropogénico en ecosistemas costeros (Zheng et al., 2021).

1.5.7.6 Hierro (Fe)

Aunque el hierro es un elemento esencial para los procesos biológicos, concentraciones extremadamente elevadas, como las detectadas en ambientes contaminados, pueden alterar los equilibrios redox en el sedimento y promover procesos anaerobios, generando condiciones inadecuadas para muchas especies bentónicas. La bibliografía especializada indica que el hierro, en exceso, puede formar compuestos insolubles que afectan la biodisponibilidad de otros elementos y reducen la calidad del hábitat (Alonso, 2002).

Además, concentraciones elevadas de hierro pueden favorecer la formación de óxidos e hidróxidos insolubles que tienden a fijar nutrientes esenciales en el sedimento este proceso limita

la disponibilidad de fósforo en el sistema lo que puede traducirse en una disminución de la productividad primaria y en alteraciones del equilibrio trófico del ecosistema (Zhang et al., 2019).

De igual manera en ambientes con alta carga de materia orgánica los procesos de reducción anaerobia del hierro generan condiciones reductoras en el sedimento estas condiciones facilitan la liberación y movilidad de otros metales pesados como el cadmio y el mercurio incrementando su biodisponibilidad y por ende el riesgo de bioacumulación en los organismos bentónicos (Li et al., 2020).

CAPÍTULO 2: DESARROLLO METODOLÓGICO (MATERIALES Y MÉTODOS)

1. METODOLOGÍA

1.1. Área de estudio

El área de estudio ubicada en Puerto Tizal (Figura 1), con sus coordenadas $0^{\circ}07'16''$ N $80^{\circ}01'07''$ W, es una comunidad situada en una ría con presencia de manglares.

Figura 1. Comunidad puerto Tizal



Fuente: Elaboración propia.

Esta región fue seleccionada debido a la estrecha relación entre las actividades humanas y los ecosistemas de manglar lo que la convierte en un área con alta probabilidad de verse afectada por la contaminación por metales pesados especialmente cadmio (Cd) y mercurio (Hg). Los manglares cumplen una función clave en la retención de contaminantes y al mismo tiempo proporcionan hábitat a *Anadara tuberculosa* un molusco bivalvo que vive asociado a los sedimentos y que es ampliamente utilizado como bioindicador de la calidad ambiental. La ubicación precisa de los puntos de muestreo dentro de la ría se seleccionará estratégicamente para

representar tanto zonas expuestas a actividades humanas como áreas más alejadas para establecer comparaciones.

1.2. Diseño del estudio

El estudio es de tipo descriptivo, transversal y cuantitativo. Un diseño transversal permite la evaluación de las condiciones ambientales en un momento determinado, proporcionando una “instantánea” de los niveles de contaminación por cadmio y mercurio en los sedimentos y en *Anadara tuberculosa*. Este enfoque es adecuado para detectar patrones de bioacumulación y establecer correlaciones entre las concentraciones de metales en los sedimentos y en los tejidos de los organismos.

El componente cuantitativo se basa en la medición precisa de las concentraciones de Cd y Hg utilizando espectrometría de absorción atómica (EAA), una técnica sensible y confiable para la detección de metales pesados a niveles traza en muestras ambientales. El uso de métodos estandarizados garantiza la comparabilidad de los datos y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

1.3. Muestreo

2.3.1 Selección de sitios de muestreo

Se seleccionaron 4 estaciones de muestreo a lo largo de la ría de Puerto Tizal, al incluir zonas de manglar donde se espera una mayor acumulación de sedimentos y en áreas con presencia de *Anadara tuberculosa* (Tabla 1). La selección de los sitios se basó en criterios como la cercanía a fuentes potenciales de contaminación, la accesibilidad del área y la representatividad ecológica. Se incluyeron tanto áreas cercanas a fuentes de actividad humana como áreas relativamente más

alejadas, para tener una base de comparación entre zonas con diferentes niveles de influencia antropogénica. Por lo siguiente en cada punto están ubicados con su respectiva longitud del cuál se tomaron las muestras de sedimentos y de *Anadara tuberculosa* (Figura 2).

Figura 2. Distancia entre los puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia.

Se establecieron cuatro estaciones de muestreo a lo largo de la ría de Puerto Tizal con el fin de representar áreas con diferente influencia ambiental y posible exposición a fuentes de contaminación. Las coordenadas geográficas de cada punto fueron registradas para garantizar la localización precisa y la reproducibilidad del estudio, y se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo

Estaciones	Coordenadas
Estación 1	0°07'39" N 80°01'02" W
Estación 2	0°07'31" N 80°00'57" W
Estación 3	0°07'17" N 80°01'08" W

Estación 4	0°07'19" N 80°01'27" W
------------	------------------------

2.3.2. Recolección de muestras de sedimento.

Para la recolección de sedimentos, se utilizó una espátula o una cuchara de albañil, dependiendo de las características del sitio de muestreo. Las muestras se extrajeron a una profundidad de 5 a 10 cm, ya que esta capa superficial es la más expuesta a la deposición de contaminantes. Se recolectaron aproximadamente 500 g de sedimento en cada punto de muestreo los cuales fueron colocados en bolsas estériles para su adecuado transporte al laboratorio donde posteriormente se realizó su procesamiento.

Cada muestra fue previamente homogeneizada con el fin de garantizar una representación uniforme del sedimento recolectado y luego dividida en alícuotas destinadas al análisis químico posteriormente los sedimentos se secaron al aire en un laboratorio bajo condiciones controladas y se tamizaron utilizando mallas de 2 mm con el objetivo de eliminar partículas de gran tamaño no representativas como restos orgánicos y fragmentos de piedra.

2.3.3. Recolección de *Anadara tuberculosa*

Se recolectaron 13 individuos de *Anadara tuberculosa* en cada punto de muestreo. Los organismos se extrajeron manualmente de los sedimentos del manglar utilizando guantes de nitrilo, se realizaron técnicas no destructivas para evitar daños a la población de moluscos.

Los individuos recolectados posterior a su recolección se colocaron en bolsas estériles, etiquetados adecuadamente, y transportados en refrigeración al laboratorio para su procesamiento inmediato. El análisis de los tejidos blandos de *Anadara tuberculosa* proporcionará una visión directa de los niveles de contaminación en los organismos que habitan los sedimentos del manglar.

2.3.4. Registro de parámetros fisicoquímicos

En cada sitio de muestreo se registraron parámetros fisicoquímicos como temperatura, salinidad y pH. El pH y la temperatura fueron medidos in situ mediante un medidor portátil de pH Hanna Instruments modelo HI98107, equipo de uso frecuente en monitoreos ambientales en la costa ecuatoriana. La salinidad se determinó utilizando un refractómetro portátil ATC (0–100 ‰), empleado para mediciones en campo en sistemas estuarinos y marino-costeros.

1.4. Procedimiento de Laboratorio

Los análisis se realizaron en el laboratorio CESSECA de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí (ULEAM), ubicado en la ciudad de Manta. Se efectuó la determinación cuantitativa de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en muestras de sedimento y en tejidos blandos de *Anadara tuberculosa*.

Las muestras fueron sometidas a un proceso de digestión ácida utilizando ácido nítrico y ácido sulfúrico para la extracción de metales. Posteriormente, la cuantificación se realizó mediante espectrometría de absorción atómica (EAA), empleando el método de llama para la determinación de cadmio y el método de vapor frío para la determinación de mercurio.

Este procedimiento permitió obtener concentraciones expresadas en mg/kg de peso seco, garantizando precisión analítica y confiabilidad en la evaluación de la bioacumulación de metales pesados en el sistema estuarino manglar de Puerto Tizal.

1.5. Análisis de datos

Los datos recolectados se analizaron mediante métodos estadísticos descriptivos y comparativos. Para cada punto de muestreo, se calcularon las concentraciones promedio de cadmio y mercurio, junto con sus respectivas desviaciones estándar. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre los puntos de muestreo. Asimismo, se utilizaron análisis de correlación de Pearson para determinar la relación entre las concentraciones de metales en los sedimentos y en los tejidos de *Anadara tuberculosa*.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS

3.1 Concentración de Cadmio y Mercurio en Sedimentos

Se determinó la concentración de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en las muestras de sedimento recolectadas en cuatro zonas de la comunidad de Puerto Tizal, con el fin de evaluar la presencia y distribución de estos metales pesados en el ambiente donde habita *Anadara tuberculosa*. Los resultados se expresan en miligramos por kilogramo (mg/kg) y se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. *Concentración de Cd y Hg en sedimentos por zona (mg/kg). Para el cadmio el valor guía de calidad de sedimentos (ISQG) se establece en 0,7 mg/kg mientras que el nivel de efecto probable (PEL) es de 4,2 mg/kg y en el caso del mercurio los valores de referencia corresponden a 0,13 mg/kg para el ISQG y 0,70 mg/kg para el PEL (Quispe Yana et al., 2019).*

	Zona	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Límite Cd (ISQG-PEL)	Límite Hg (ISQG-PEL)
1	Zona	0,094	0,069	0,7 – 4,2	0,13 – 0,70
2	Zona	0,077	0,070	0,7 – 4,2	0,13 – 0,70
3	Zona	0,096	0,082	0,7 – 4,2	0,13 – 0,70
4	Zona	0,088	0,056	0,7 – 4,2	0,13 – 0,70

Los resultados muestran que las concentraciones de cadmio en sedimentos fueron ligeramente más elevadas en la Zona 3 (0,096 mg/kg) y más bajas en la Zona 2 (0,077 mg/kg); sin embargo, todos los valores se encuentran por debajo del límite de referencia ISQG (0,7 mg/kg) y muy por debajo del nivel PEL (4,2 mg/kg), lo que indica baja probabilidad de efectos adversos en los organismos bentónicos. En el caso del mercurio, las concentraciones variaron entre 0,056 mg/kg en la Zona 4 y 0,082 mg/kg en la Zona 3, valores que también se sitúan por debajo del ISQG (0,13 mg/kg) y del PEL (0,70 mg/kg). Estos resultados sugieren que, aunque existe presencia de metales en el sedimento, las concentraciones registradas no superan los límites internacionales establecidos y se consideran dentro de rangos de bajo riesgo ambiental según el marco teórico.

El análisis estadístico mostró diferencias poco marcadas en las concentraciones de cadmio y mercurio entre las zonas de estudio no obstante estas variaciones permiten reconocer una mayor acumulación de ambos metales en la Zona 3. Este comportamiento sugiere que dicha área podría estar recibiendo una carga contaminante superior posiblemente asociada al arrastre de aguas la acumulación de materia orgánica o la proximidad a fuentes puntuales de descarga.

Tabla 3. Análisis de varianza (ANOVA) de las concentraciones de cadmio y mercurio en sedimentos según zonas de muestreo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
ZONAS	3	0,000371	0,000124	1,99	0,293
METALES PESADOS SEDIMENTO	1	0,000760	0,000760	12,23	0,040
Error	3	0,000187	0,000062		
Total	7	0,001318			

En relación con el factor zonas de muestreo, el análisis de varianza (ANOVA) mostró un valor de $p = 0,293$ ($p > 0,05$) lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de cadmio y mercurio entre las distintas zonas evaluadas. Estos resultados indican que la ubicación geográfica no tiene una influencia determinante sobre los niveles de metales pesados presentes en los sedimentos analizados ya que las variaciones observadas entre zonas no fueron estadísticamente significativas (Tabla 3).

En contraste para el factor correspondiente a los metales pesados en sedimento el análisis de varianza (ANOVA) mostró un valor de $p = 0,040$ ($p < 0,05$) lo que evidencia la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de cadmio y mercurio este resultado sugiere que ambos metales presentan comportamientos distintos dentro de los sedimentos evaluados (Tabla 3).

3.2 Concentración de Cadmio y Mercurio en *Anadara tuberculosa*

Se determinaron las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en el tejido blando de *Anadara tuberculosa* recolectada en cuatro zonas de la comunidad de Puerto Tizal. Los resultados obtenidos se expresan en miligramos por kilogramo (mg/kg) y se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Concentración de Cd y Hg en tejido de *Anadara tuberculosa* por zona (mg/kg).

El contenido máximo de cadmio en moluscos no debe exceder los 1,0 mg/kg, mientras que el de mercurio no debe superar los 0,5 mg/kg (Garofalo et al., 2025).

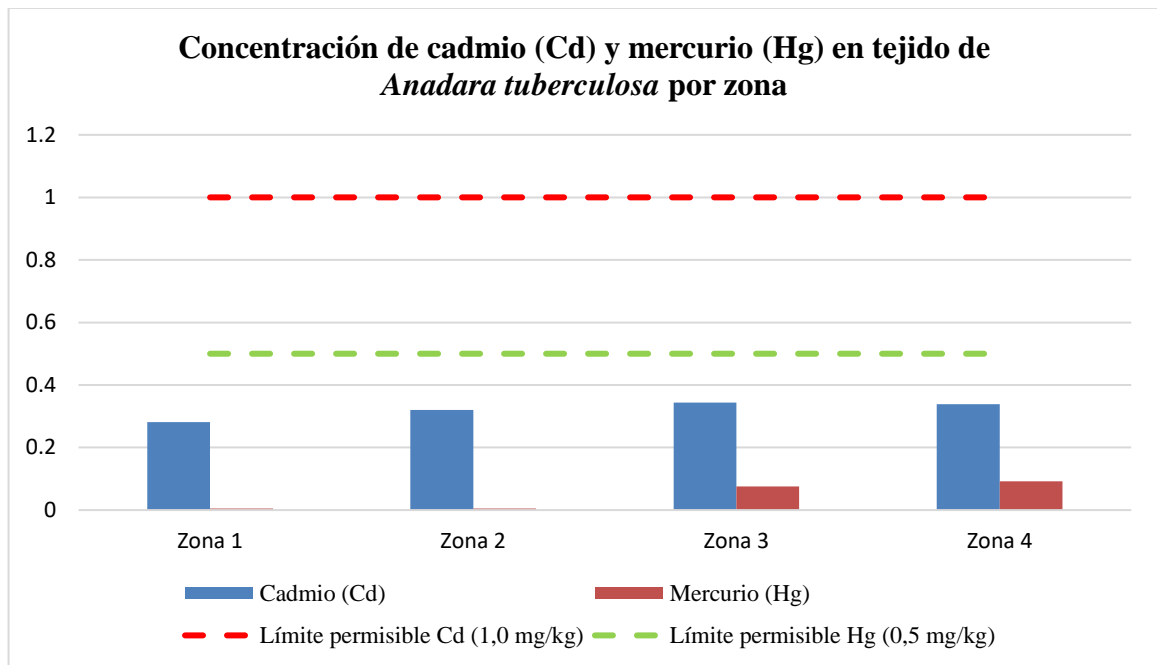
Zona	Cadmio (Cd) mg/kg	Mercurio (Hg) mg/kg	Límite permisible Cd (mg/kg)	Límite permisible Hg (mg/kg)
1	0,281	< 0,005	1,0	0,5
2	0,320	< 0,005	1,0	0,5
3	0,344	0,076	1,0	0,5
4	0,339	0,092	1,0	0,5

Los resultados indican que la concentración de cadmio fue detectada en todas las zonas, con un valor mínimo en la Zona 1 (0,281 mg/kg) y un valor máximo en la Zona 3 (0,344 mg/kg). En cuanto al mercurio, se registraron concentraciones detectables en las Zonas 3 y 4, siendo más alta en la Zona 4 (0,092 mg/kg). No obstante, estos valores se encuentran por debajo del límite máximo permisible establecido para moluscos (0,5 mg/kg), según el marco teórico, lo que indica que no representan un riesgo significativo para el consumo humano (Tabla 4).

En la Figura 3 se presentan los valores promedio de concentración de cadmio y mercurio en tejido de *Anadara tuberculosa* por zona, permitiendo una comparación visual entre los sitios de muestreo. Se observa que las concentraciones más altas de ambos metales se registran en las zonas 3 y 4; sin embargo, ninguno de los valores supera los límites máximos permisibles establecidos para moluscos (1,0 mg/kg para cadmio y 0,5 mg/kg para mercurio), de acuerdo con el marco teórico. Esto indica que, aunque existe presencia de metales en el organismo, los niveles se mantienen dentro de rangos aceptables y no representan un riesgo significativo para el consumo humano. Además, la mayor concentración en las zonas 3 y 4 podría estar asociada a la cercanía a

áreas de mayor actividad antrópica y a la dinámica del sistema estuarino, factores que favorecen la acumulación de contaminantes en el sedimento y su posterior incorporación en los organismos bentónicos.

Figura 3. Concentración promedio de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en tejido de *Anadara tuberculosa* por zona de muestreo, con inclusión de los límites máximos permisibles establecidos para moluscos (Cd: 1,0 mg/kg; Hg: 0,5 mg/kg).



3.3 Correlación entre parámetros fisicoquímicos, metales en tejido y metales en sedimento

Se realizó un análisis de correlación de Pearson para evaluar la relación entre las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en el tejido de *Anadara tuberculosa*, los niveles de estos metales en el sedimento, y las variables fisicoquímicas del ambiente: temperatura, salinidad y pH. El objetivo fue establecer si existe una asociación estadísticamente significativa

que permita comprender los factores que influyen en la bioacumulación de metales pesados en esta especie bivalva.

Los resultados evidenciaron una correlación positiva y fuerte entre las concentraciones de cadmio y mercurio en los tejidos ($r = 0,809$) aunque esta relación no fue estadísticamente significativa ($p = 0,191$) este comportamiento sugiere una posible tendencia a la acumulación conjunta de ambos metales en el organismo lo que podría estar asociado a mecanismos fisiológicos similares de absorción o a condiciones geoquímicas compartidas del hábitat (Figura 4).

En relación con los parámetros ambientales la salinidad mostró una correlación negativa fuerte con el cadmio en tejido ($r = -0,841$; $p = 0,159$) y una correlación negativa moderada con el mercurio en tejido ($r = -0,617$; $p = 0,383$) estos resultados indican que mayores niveles de salinidad podrían limitar la acumulación de estos metales en los tejidos de *Anadara tuberculosa* (Figura 4).

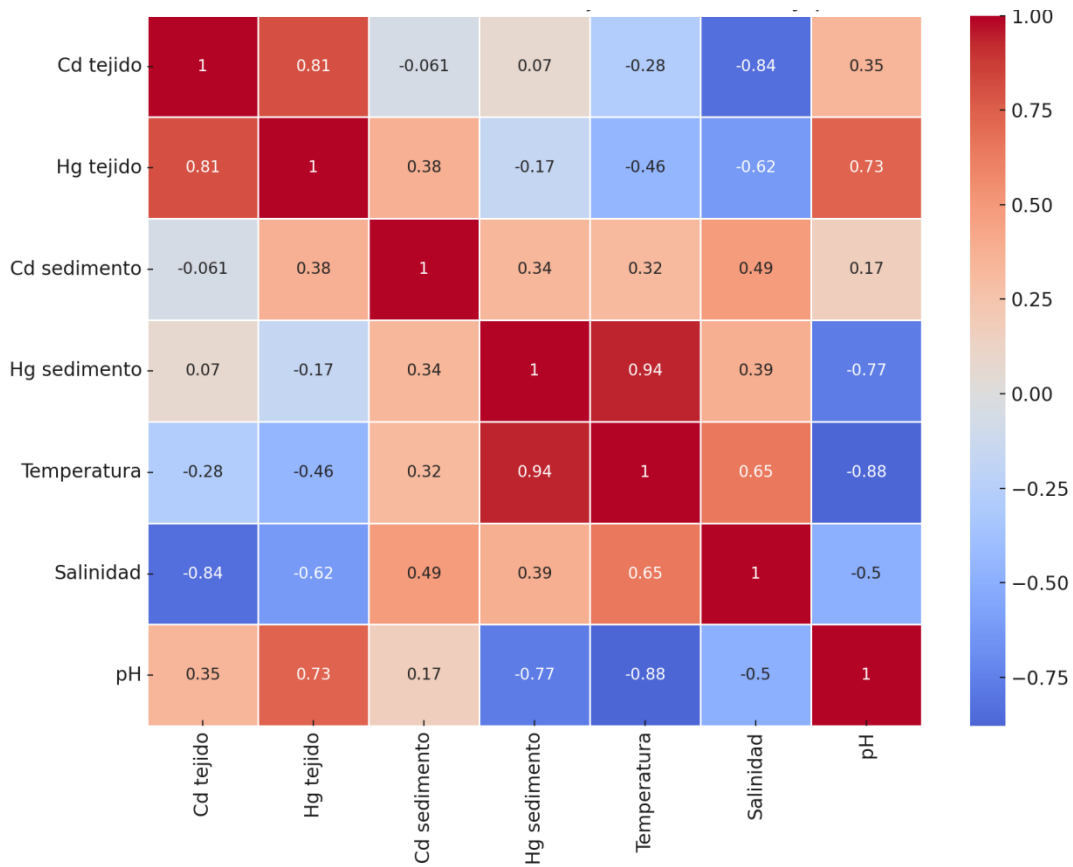
Por su parte el pH del agua presentó correlaciones positivas moderadas con el cadmio en tejido ($r = 0,351$) y con el mercurio en tejido ($r = 0,731$) lo que sugiere que condiciones menos ácidas podrían favorecer la movilización y absorción de estos metales no obstante estas asociaciones no alcanzaron niveles de significancia estadística (Figura 4).

En cuanto a los sedimentos no se identificaron correlaciones fuertes ni significativas entre las concentraciones de cadmio o mercurio y los parámetros ambientales evaluados lo que indica que la retención de estos metales en el sedimento podría estar influenciada por otros factores como el contenido de materia orgánica o la granulometría.

Finalmente, la temperatura mostró una correlación negativa moderada con el mercurio en sedimento ($r = -0,938$; $p = 0,062$) cercana al umbral de significancia estadística lo que podría sugerir que temperaturas más elevadas favorecen procesos de volatilización o transformación del mercurio hacia formas menos detectables.

Estos hallazgos permiten concluir que, si bien las correlaciones observadas no son estadísticamente significativas por el tamaño limitado de la muestra, existen patrones relevantes entre los parámetros ambientales y la bioacumulación de metales que deben ser considerados en el monitoreo ecológico de la especie y su entorno (Figura 4).

Figura 4. Matriz de correlación entre metales en tejido, sedimento y parámetros ambientales.



3.4 Análisis estadístico global y validación del bioindicador

Con el objetivo de evaluar si *Anadara tuberculosa* puede considerarse un bioindicador eficaz para la detección de metales pesados en ambientes de ría con presencia de manglar, se aplicó un modelo lineal general (GLM) a los datos obtenidos de la concentración de Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) tanto en los tejidos del organismo como en el sedimento. El análisis se realizó en función de dos factores principales: el tipo de metal y la zona de muestreo.

3.5 Modelo aplicado a los datos de tejido

El análisis de varianza (ANOVA) evidenció que el factor “metales pesados” tuvo un efecto altamente significativo sobre las concentraciones en el tejido de *Anadara tuberculosa* ($F = 334,53$; $p < 0,001$), lo que confirma la existencia de diferencias estadísticas claras entre las concentraciones medias de cadmio y mercurio. El factor “zona”, aunque con menor influencia, presentó un efecto marginalmente significativo ($F = 5,86$; $p = 0,090$), sugiriendo la presencia de variabilidad espacial en los procesos de bioacumulación dentro del sistema estuarino. El modelo mostró un ajuste excelente, con un coeficiente de determinación $R^2 = 99,16\%$, indicando que la mayor parte de la variabilidad observada en los datos puede explicarse por los factores incluidos en el análisis. La ecuación resultante fue:

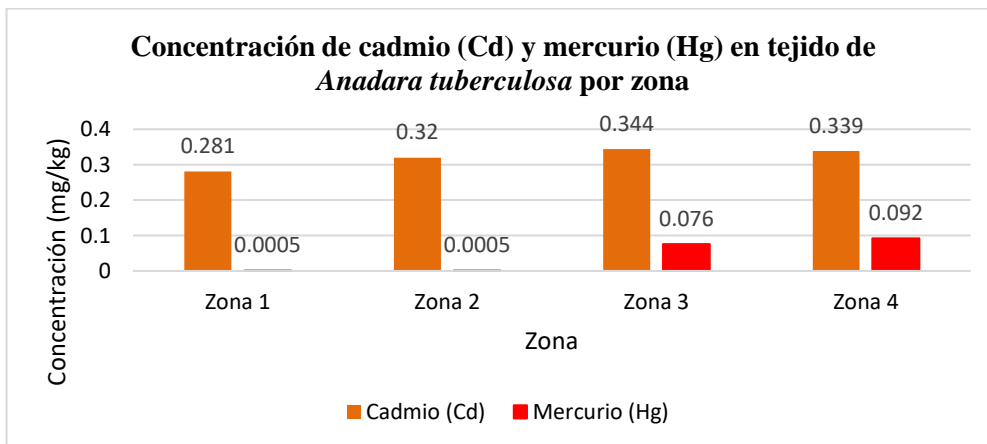
$$\text{mg/kg} = 0,18163 + 0,13938(\text{Cadmio}) - 0,13938(\text{Mercurio}) - 0,0409(\text{Zona 1}) - 0,0214(\text{Zona 2}) + 0,0284(\text{Zona 3}).$$

Las estimaciones del modelo evidencian que las concentraciones de cadmio tienden a ser significativamente más elevadas que las de mercurio en los tejidos de *Anadara tuberculosa*. Este comportamiento fue corroborado mediante comparaciones por pares utilizando el método LSD de

Fisher, donde se confirmó que las diferencias entre metales y zonas son estadísticamente significativas, identificando al cadmio como el metal con mayor acumulación (media = 0,321 mg/kg) frente al mercurio (media = 0,04225 mg/kg).

Los resultados gráficos refuerzan este patrón, mostrando que las concentraciones de cadmio en el tejido de *Anadara tuberculosa* fueron superiores a las de mercurio en todas las zonas evaluadas, evidenciando una mayor afinidad de acumulación de este metal en el organismo. El cadmio alcanzó su valor máximo en la Zona 3 (0,344 mg/kg) y el mínimo en la Zona 1 (0,281 mg/kg), mientras que el mercurio presentó concentraciones muy bajas en las zonas 1 y 2, por debajo del límite de detección, y valores relativamente mayores en las zonas 3 (0,076 mg/kg) y 4 (0,092 mg/kg). Estos resultados evidencian una variabilidad espacial en la disponibilidad y bioacumulación de metales pesados dentro del sistema estuarino, posiblemente asociada a condiciones ambientales locales y a la influencia de actividades antrópicas. Asimismo, la mayor concentración de cadmio respecto al mercurio refuerza el papel de *Anadara tuberculosa* como organismo bioindicador de contaminación por metales en ecosistemas manglar–estuarinos.

Figura 5. Comparación de concentración de Cd y Hg (mg/kg) en tejido de *Anadara tuberculosa* por zonas.



3.6 Modelo aplicado a los datos de sedimento

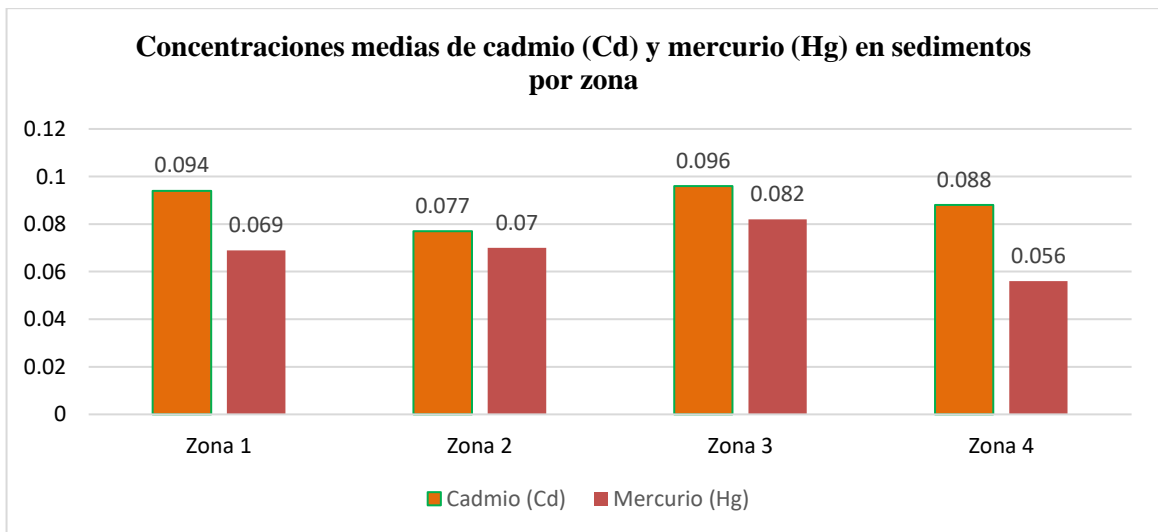
Para las muestras de sedimento, el modelo mostró que el tipo de metal tuvo un efecto estadísticamente significativo ($F = 12,23$; $p = 0,040$), mientras que el factor zona no presentó una influencia relevante ($F = 1,99$; $p = 0,293$). El modelo explicó el **85,85%** de la variación en las concentraciones, lo cual representa un buen ajuste considerando la naturaleza ambientalmente variable del sedimento.

La ecuación de regresión fue:

$$\text{mg/kg} = 0,07900 + 0,00250(\text{Zona 1}) - 0,00550(\text{Zona 2}) + 0,01000(\text{Zona 3}) - 0,00700(\text{Zona 4}) + 0,00975(\text{Cadmio}) - 0,00975(\text{Mercurio})$$

La Figura 6 muestra las concentraciones medias de cadmio y mercurio en sedimentos por zona. Se observa que el cadmio presenta valores ligeramente superiores al mercurio en la mayoría de las estaciones, aunque las diferencias entre zonas no fueron estadísticamente significativas según la prueba de Fisher.

Figura 6. Concentraciones medias de Cd y Hg en sedimentos por zona.



3.7 Modelo y validación del bioindicador

Los modelos aplicados muestran que existe una diferencia clara y estadísticamente significativa en la acumulación de cadmio y mercurio entre los tejidos de *Anadara tuberculosa* y los sedimentos. Los resultados evidencian que la acumulación es mayor en el tejido del organismo en comparación con el sedimento, lo que confirma su capacidad como bioindicador de contaminación ambiental. En el molusco se observa una respuesta más sensible y explicativa frente a la variabilidad del entorno, especialmente en relación con el tipo de metal, mientras que en los sedimentos las concentraciones presentan una variación más moderada asociada a las condiciones fisicoquímicas del medio.

El alto valor del coeficiente de determinación ($R^2 = 99,16\%$) en el modelo aplicado al tejido respalda el uso de *Anadara tuberculosa* como un bioindicador confiable de contaminación por metales pesados en ambientes de manglar y ría. Esto se refuerza con los patrones consistentes de mayor acumulación de Cadmio y la correlación espacial observada, aunque marginalmente significativa, entre zonas.

3.8 Análisis e Interpretación de Parámetros en Sedimento Homogenizado

Con el fin de caracterizar las condiciones ambientales del sedimento homogenizado, se analizaron diversos parámetros fisicoquímicos y su implicación ecológica en el sistema estuarino. Los resultados obtenidos y su interpretación se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Análisis e interpretación de parámetros fisicoquímicos en sedimento homogenizado.

Parámetro	Resultado	Interpretación
Conductividad (mS/cm)	1010	Muy alta. La conductividad en sedimentos marino-estuarinos usualmente varía entre 30 y 60 mS/cm. Un valor de 1010 sugiere una alta concentración de sales solubles, posiblemente debido a intrusión salina extrema, acumulación de lixiviados o materia orgánica en descomposición. Esto puede alterar la estructura microbiana del sedimento y afectar negativamente la fauna bentónica.
Nitrato (mg/l)	26,5	Elevado. Según la EPA, concentraciones superiores a 10 mg/l ya representan un riesgo de eutrofización. Este valor sugiere contaminación por fuentes orgánicas como aguas residuales domésticas o fertilizantes agrícolas, lo cual puede estimular el crecimiento de algas y reducir el oxígeno disponible en el sedimento.
Nitrito (mg/l)	1,26	Alto. Los nitritos son compuestos intermedios en la nitrificación y su acumulación indica una alteración del ciclo del nitrógeno. La EPA establece como límite en agua potable 1 mg/l. En sedimentos, niveles por encima de 0,5 mg/l pueden ser indicativos de una degradación

		inadecuada de la materia orgánica.
pH	7,35	Idóneo. El pH se encuentra dentro del rango neutro (7–8), lo cual es favorable para la vida bentónica. Esto indica la ausencia de condiciones de acidez o alcalinidad extremas lo que favorece la disponibilidad de nutrientes y limita la movilidad de los metales pesados en el sistema.
Sulfato (mg/l)	35	Moderado. Los sulfatos son compuestos habituales en ambientes marinos debido a su presencia natural en el agua de mar, aunque el valor registrado se considera aceptable es importante mantener un monitoreo constante ya que bajo condiciones anaerobias pueden ser reducidos por bacterias dando lugar a la formación de sulfuros tóxicos como el H ₂ S los cuales representan un riesgo para los organismos bentónico.
Cobre (mg/kg)	79,74	Alto. De acuerdo con estudios sobre contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos, los niveles de concentración pueden asociarse con distintos grados de riesgo para la biota bentónica,

		<p>dependiendo de su magnitud y persistencia en el ambiente. En este sentido, el valor registrado se ubica dentro de un rango que podría generar efectos adversos moderados sobre los organismos asociados al sedimento. Becerra (2020) señala que concentraciones intermedias de metales en sedimentos pueden provocar alteraciones fisiológicas y ecológicas en la biota bentónica, especialmente cuando existe exposición prolongada y condiciones ambientales que favorecen la biodisponibilidad de los contaminantes.</p>
<p>Hierro (mg/kg)</p>	<p>9510,98</p>	<p>Extremadamente alto. Aunque el hierro es un elemento esencial, niveles tan elevados pueden alterar la biogeoquímica del sedimento, promover la reducción anaerobia de sulfatos y formar compuestos tóxicos. Además, puede impactar en la calidad del hábitat para organismos filtradores.</p>

Los resultados evidencian una condición de alteración química significativa del sedimento donde habita *Anadara tuberculosa*. Particularmente, los altos niveles de conductividad, nitratos, nitritos, cobre y hierro indican:

Los resultados sugieren la posible presencia de contaminantes de origen antrópico, asociados a descargas de aguas residuales, uso de agroquímicos y desechos industriales, lo que podría generar riesgos de toxicidad crónica y subletal en organismos bentónicos, especialmente en moluscos filtradores. Asimismo, se evidencia el potencial de bioacumulación de metales como cobre y hierro en los tejidos de *Anadara tuberculosa*, lo que podría afectar su metabolismo, tasa de filtración y valor nutricional. A largo plazo, estas condiciones podrían provocar impactos ecológicos significativos, como pérdida de biodiversidad, cambios en la composición faunística del manglar y alteraciones en el ciclo de nutrientes del ecosistema estuarino.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los valores obtenidos para cadmio y mercurio en sedimentos oscilaron entre 0,077 y 0,096 mg/kg para Cd y entre 0,056 y 0,082 mg/kg para Hg, situándose por debajo de los niveles guía internacionales de calidad ambiental. Estos resultados indican que, aunque existe presencia de metales pesados en el sedimento del sistema manglar–estuario de Puerto Tizal, no se evidencia un riesgo ecotoxicológico inmediato; sin embargo, su detección confirma una presión ambiental continúa asociada a fuentes antrópicas y procesos de acumulación progresiva. Este comportamiento coincide con lo señalado por Becerra (2020), quien menciona que concentraciones bajas de metales en sedimentos no implican ausencia de contaminación, sino fases iniciales o moderadas que pueden intensificarse con el tiempo dependiendo de la dinámica ambiental y de las actividades humanas presentes en el entorno.

Las concentraciones de cadmio en los tejidos de *Anadara tuberculosa* variaron entre 0,281 y 0,344 mg/kg, mientras que el mercurio osciló desde valores por debajo del límite de detección

hasta 0,092 mg/kg, manteniéndose por debajo de los límites permisibles internacionales para consumo humano. No obstante, la mayor acumulación de cadmio confirma la capacidad bioindicadora del organismo y su exposición crónica a contaminantes del ambiente. Estos resultados son consistentes con lo reportado por Pernía et al. (2019) y González (2018), quienes identificaron concentraciones similares en moluscos de ecosistemas costeros con influencia antrópica, señalando que valores cercanos o superiores a 0,3 mg/kg pueden reflejar presiones ambientales moderadas. Asimismo, Morales (2020) indica que concentraciones elevadas de mercurio en moluscos se asocian con exposiciones prolongadas; aunque en este estudio los niveles se mantuvieron por debajo del umbral de riesgo, su presencia confirma la persistencia de contaminantes en el ecosistema.

El análisis estadístico evidenció correlaciones bajas a moderadas entre las concentraciones de metales en sedimentos, tejidos y variables fisicoquímicas, lo que sugiere que la bioacumulación no depende exclusivamente del contenido total de metales en el sedimento, sino también de factores ambientales y fisiológicos del organismo. La correlación positiva entre Cd y Hg en tejidos indica una posible acumulación simultánea, fenómeno descrito en organismos bentónicos expuestos a múltiples contaminantes (Cedeño Vences, 2023). De igual manera, la relación negativa observada entre salinidad y cadmio en tejido sugiere que incrementos en la salinidad pueden reducir la biodisponibilidad de ciertos metales mediante la formación de complejos estables en solución, coincidiendo con lo reportado por Chalen Santos (2022) y González et al. (2018), quienes destacan la influencia de variables como pH, temperatura y salinidad en los procesos de absorción y retención de metales. Asimismo, la diferencia significativa entre metales confirma la mayor afinidad del cadmio por los tejidos blandos de *Anadara tuberculosa*, tal como lo documenta

Sinicropi et al. (2020), reforzando el papel de esta especie como bioindicador sensible de la calidad ambiental del ecosistema estuarino.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de cadmio y mercurio determinadas en sedimentos superficiales de la ría de Puerto Tizal oscilaron entre 0,077 y 0,096 mg/kg para Cd y entre 0,056 y 0,082 mg/kg para Hg, valores que se mantuvieron por debajo de los niveles guía internacionales de calidad ambiental para sedimentos marinos. Estos resultados evidencian la presencia de metales pesados en el ecosistema estuarino, aunque sin representar un riesgo ecotoxicológico inmediato para la biota bentónica. No obstante, su detección confirma una presión ambiental persistente y sugiere un escenario de contaminación de baja intensidad, pero sostenida, que podría incrementarse con el tiempo en función de la influencia de actividades antrópicas y de los procesos de acumulación propios del sistema manglar-estuario.

Las concentraciones registradas en los tejidos blandos de *Anadara tuberculosa* evidenciaron la bioacumulación de cadmio y mercurio, con valores de Cd entre 0,281 mg/kg (Zona 1) y 0,344 mg/kg (Zona 3), y de Hg desde niveles por debajo del límite de detección (<0,005 mg/kg) hasta 0,092 mg/kg (Zona 4). Las concentraciones promedio de Cd se situaron alrededor de 0,32 mg/kg, mientras que las de Hg se mantuvieron por debajo de 0,1 mg/kg, valores que no superan los límites máximos permisibles establecidos para consumo humano (0,5 mg/kg). Sin embargo, la presencia continua de estos metales refleja una exposición crónica del organismo a contaminantes del entorno y confirma la mayor tendencia de acumulación del cadmio en comparación con el mercurio, evidenciando la sensibilidad de la especie frente a cambios en la calidad ambiental del manglar.

El análisis de la relación entre las concentraciones de metales en sedimentos, tejidos y variables fisicoquímicas mostró asociaciones que evidencian la influencia de factores ambientales en los procesos de bioacumulación. Se identificó una correlación positiva entre Cd y Hg en tejidos ($r = 0,809$), así como una relación negativa fuerte entre salinidad y cadmio en tejido ($r = -0,861$), lo que sugiere que variaciones en las condiciones fisicoquímicas del medio influyen en la absorción y retención de metales. Asimismo, el análisis del sedimento reveló concentraciones elevadas de hierro (9510,98 mg/kg) y cobre (79,74 mg/kg), además de nitratos (26,5 mg/l) y nitritos (1,26 mg/l), mientras que el pH se mantuvo en 7,35 y la conductividad en 1010 $\mu\text{S}/\text{cm}$, condiciones que reflejan influencia antrópica y potencial riesgo ecológico para la biota bentónica. En conjunto, estos resultados confirman que *Anadara tuberculosa* actúa como un bioindicador ambiental eficiente, capaz de reflejar la presencia y dinámica de contaminantes en el ecosistema estuarino de Puerto Tizal y de aportar información clave para su monitoreo y gestión ambiental.

RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar programas permanentes de monitoreo ambiental en los sedimentos de la ría de Puerto Tizal, con el fin de evaluar de manera continua la presencia de metales pesados y detectar oportunamente posibles incrementos asociados a actividades antrópicas. Asimismo, es necesario fortalecer las acciones de control sobre fuentes potenciales de contaminación, como descargas domésticas, actividades agrícolas y procesos de escorrentía, para prevenir impactos a largo plazo en el ecosistema manglar–estuario.

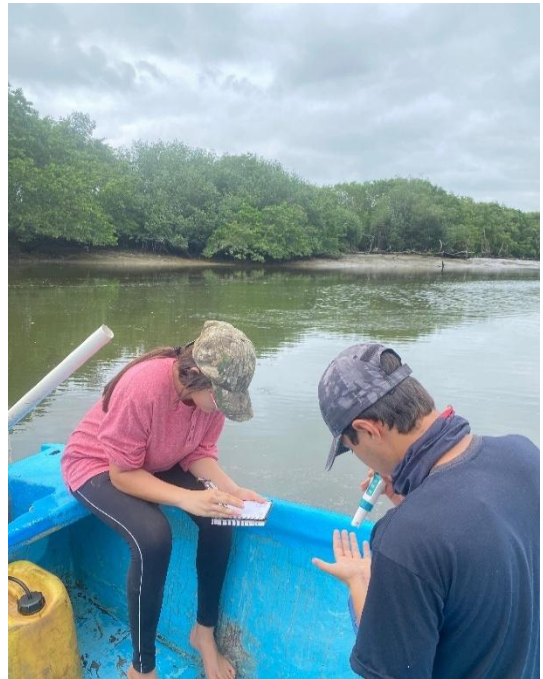
Se recomienda realizar evaluaciones periódicas en los tejidos de *Anadara tuberculosa* como parte de estrategias de vigilancia ambiental y sanitaria, considerando su capacidad de bioacumulación y su importancia como recurso alimenticio para las comunidades locales. Además, se sugiere promover prácticas sostenibles de extracción, campañas de educación ambiental y programas de sensibilización dirigidos a recolectores y habitantes del sector, con el propósito de reducir riesgos ecológicos y garantizar la seguridad del consumo humano en el tiempo.

Se recomienda profundizar en investigaciones que integren el análisis de metales pesados con variables fisicoquímicas del ambiente estuarino, así como ampliar el estudio a otros elementos y nutrientes presentes en el sedimento que puedan influir en la dinámica de contaminación del ecosistema. De igual manera, se sugiere fortalecer el uso de *Anadara tuberculosa* como bioindicador en programas de monitoreo ambiental, con el fin de apoyar la gestión sostenible del manglar y la toma de decisiones orientadas a la conservación de los recursos naturales y la protección de las comunidades que dependen de este sistema.

ANEXOS



1 Toma de parámetros fisicoquímicos



2 Registro de resultados



3 Recolección de lodo



4 Peso del lodo



5. Recolección de *A. tuberculosa*



6. Obtención de *A. tuberculosa*

INFORME DE LABORATORIO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABI
ESPECIE: N/A.
TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
No. CAJAS: N/A
UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (4 UNIDADES DE 500GRAMOS POR CADA MUESTRA)
MARCA: N/A.
PAIS DE DESTINO: N/A.
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: CONCHA PRIETA.

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
FECHA INICIO ENSAYO: 18/6/2025 0:00:00
FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
FECHA EMISION RESULTADOS: 30/6/2025 8:51:45
FACTURA: 00110000001010
ORDEN: 64540
TIPO PRODUCTO: PRODUCTOS DEL MAR

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Cadmio*	MUESTRA 1.	mg/kg	0,281	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/02 Método de Referencia AO AC Ed. 22, 2023; 999.10
Mercurio*		mg/kg	< 0,0005	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/03 Método de Referencia AO AC Ed. 22, 2023; 974.14

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cesecca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:2108, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
ND: No detectable


 Ing. Fernando Velez Paraga
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
cesecca@uleam-epec.gob.ec
www.uleam-epec.gob.ec



INFORME DE LABORATORIO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
 ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
 DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABI
 ESPECIE: N/A.
 TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
 No. CAJAS: N/A
 UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (4 UNIDADES DE 500GRAMOS POR CADA MUESTRA)
 MARCA: N/A.
 PAIS DE DESTINO: N/A.
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: CONCHA PRIETA.

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA INICIO ENSAYO: 18/6/2025 0:00:00
 FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
 FECHA EMISION RESULTADOS: 30/6/2025 8:54:20
 FACTURA: 00110000001010
 ORDEN: 64541
 TIPO PRODUCTO: PRODUCTOS DEL MAR

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Cadmio*	MUESTRA 2.	mg/kg	0,320	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/02 Método de Referencia AO AC Ed. 22, 2023; 999.10
Mercurio*		mg/kg	< 0,0005	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/03 Método de Referencia AO AC Ed. 22, 2023; 974.14

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cececca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:2108, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
 ND: No detectable


 Ing. Fernando Velez Paraga
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
 cececca@uleam-epec.gob.ec
 www.uleam-epec.gob.ec



INFORME DE LABORATORIO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
 ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
 DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABI
 ESPECIE: N/A.
 TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
 No. CAJAS: N/A
 UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (4 UNIDADES DE 500GRAMOS POR CADA MUESTRA)
 MARCA: N/A.
 PAIS DE DESTINO: N/A.
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: CONCHA PRIETA.

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA INICIO ENSAYO: 18/6/2025 0:00:00
 FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
 FECHA EMISION RESULTADOS: 30/6/2025 8:55:26
 FACTURA: 00110000001010
 ORDEN: 64542
 TIPO PRODUCTO: PRODUCTOS DEL MAR

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Cadmio*	MUESTRA 3.	mg/kg	0,344	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/02 Método de Referencia AO AC Ed. 22, 2023; 999.10
Mercurio*		mg/kg	0,076	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/03 Método de Referencia AO AC Ed. 22, 2023; 974.14

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cesecca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:2108, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
 ND: No detectable


 Ing. Fernando Velez Paraga
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
cesecca@uleam-epec.gob.ec
www.uleam-epec.gob.ec



INFORME DE LABORATORIO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
 ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
 DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABI
 ESPECIE: N/A.
 TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
 No. CAJA: N/A
 UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (4 UNIDADES DE 500GRAMOS POR CADA MUESTRA)
 MARCA: N/A.
 PAIS DE DESTINO: N/A.
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: CONCHA PRIETA.

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA INICIO ENSAYO: 18/6/2025 0:00:00
 FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
 FECHA EMISION RESULTADOS: 30/6/2025 8:56:01
 FACTURA: 00110000001010
 ORDEN: 64543
 TIPO PRODUCTO: PRODUCTOS DEL MAR

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Cadmio*	MUESTRA 4.	mg/kg	0,339	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/02 Método de Referencia AO AC Ed. 22, 2023; 999.10
Mercurio*		mg/kg	0,092	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/03 Método de Referencia AO AC Ed. 22, 2023; 974.14

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cesecca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:2108, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
 ND: No detectable


 Ing. Fernando Velez Paraga
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
cesecca@uleam-epec.gob.ec
www.uleam-epec.gob.ec



INFORME DE LABORATORIO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
 ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
 DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABI
 ESPECIE: N/A.
 TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
 No. CAJAS: N/A
 UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (4 UNIDADES DE 100GRAMOS POR CADA MUESTRA)
 MARCA: N/A.
 PAIS DE DESTINO: N/A.
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: SEDIMENTOS (LODO).

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA INICIO ENSAYO: 18/6/2025 0:00:00
 FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
 FECHA EMISION RESULTADOS: 30/6/2025 8:59:19
 FACTURA: 001100000001009
 ORDEN: 64545
 TIPO PRODUCTO: N/A

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Cadmio*	MUESTRA 1 ZONA 1.	mg/kg	0,094	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/19 Método de Referencia Standard methods Ed. 23, 2024 3113
Mercurio*		mg/kg	0,069	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cececca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:2108, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
 ND: No detectable


 Ing. Fernando Velez Paraga
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
 cececca@uleam-epec.gob.ec
 www.uleam-epec.gob.ec



INFORME DE LABORATORIO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABI
ESPECIE: N/A.
TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
No. CAJAS: N/A
UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (4 UNIDADES DE 100GRAMOS POR CADA MUESTRA)
MARCA: N/A.
PAIS DE DESTINO: N/A.
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: SEDIMENTOS (LODO).

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
FECHA INICIO ENSAYO: 18/6/2025 0:00:00
FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
FECHA EMISION RESULTADOS: 30/6/2025 9:00:10
FACTURA: 00110000001009
ORDEN: 64546
TIPO PRODUCTO: N/A

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Cadmio*	MUESTRA 2 ZONA 2.	mg/kg	0,077	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/19 Método de Referencia Standard methods Ed. 23, 2024 3113
Mercurio*		mg/kg	0,070	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cesecca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:2108, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
ND: No detectable


 Ing. Fernando Velez Paraga
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
cesecca@uleam-epec.gob.ec
www.uleam-epec.gob.ec



INFORME DE LABORATORIO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABI
ESPECIE: N/A.
TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
No. CAJAS: N/A
UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (4 UNIDADES DE 100GRAMOS POR CADA MUESTRA)
MARCA: N/A.
PAIS DE DESTINO: N/A.
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: SEDIMENTOS (LODO).

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
FECHA INICIO ENSAYO: 18/6/2025 0:00:00
FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
FECHA EMISION RESULTADOS: 30/6/2025 9:00:44
FACTURA: 001100000001009
ORDEN: 64547
TIPO PRODUCTO: N/A

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Cadmio*	MUESTRA 3 ZONA 3.	mg/kg	0,096	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/19 Método de Referencia Standard methods Ed. 23, 2024 3113
Mercurio*		mg/kg	0,082	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cececca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:2108, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
ND: No detectable


 Ing. Fernando Velez Paraga
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
cececca@uleam-epec.gob.ec
www.uleam-epec.gob.ec



INFORME DE LABORATORIO

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABI
ESPECIE: N/A.
TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
No. CAJAS: N/A
UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (4 UNIDADES DE 100GRAMOS POR CADA MUESTRA)
MARCA: N/A.
PAIS DE DESTINO: N/A.
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: SEDIMENTOS (LODO).

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
FECHA INICIO ENSAYO: 18/6/2025 0:00:00
FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
FECHA EMISION RESULTADOS: 30/6/2025 9:01:40
FACTURA: 00110000001009
ORDEN: 64548
TIPO PRODUCTO: N/A

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Cadmio*	MUESTRA 4 ZONA 4.	mg/kg	0,088	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/19 Método de Referencia Standard methods Ed. 23, 2024 3113
Mercurio*		mg/kg	0,056	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/26 Método de Referencia Standard Methods 3112

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarlos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cesecca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE INEN ISO/IEC 17025:2108, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE LEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
ND: No detectable



 Ing. Fernando Velez Paraga
 Director General
 CESECCA

+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
cesecca@uleam-epec.gob.ec
www.uleam-epec.gob.ec



INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/64544

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

CLIENTE: ANDRADE ORTIZ EMMA
 ATENCIÓN: ANDRADE ORTIZ EMMA
 DIRECCIÓN: PEDERNALES MANABÍ
 ESPECIE: N/A.
 TIPO ENVASE: FUNDAS ZIPLOCK.
 No. CAJAS: N/A.
 UNIDADES/PESO: 1 MUESTRA (1 UNIDAD DE 200GRAMOS)
 MARCA: N/A.
 PAIS DE DESTINO: N/A.
 IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: SEDIMENTOS (LODO).

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

FECHA MUESTREO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA DE INGRESO: 12/6/2025 0:00:00
 FECHA INICIO ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
 FECHA FINALIZACION ENSAYO: 24/6/2025 0:00:00
 FECHA EMISION RESULTADOS: 11/7/2025 15:54:42
 FACTURA: N/A.
 ORDEN: 64544
 TIPO PRODUCTO: N/A

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE U (k=2)	NORMA		MÉTODO DE ANÁLISIS
					Mínimo	Máximo	
Conductividad	MUESTRA 1 MH.	mS/cm	1010	-	-	-	PEE/CESECCA/QC/17 Método de Referencia: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th Edition Método 2510 B
Nitrato*		mg/l	26,5	-	-	-	Método de Referencia: Spectroquant
Nitrato*		mg/l	1,26	-	-	-	Método de Referencia: Spectroquant
pH		-	7,35	-	-	-	PEE/CESECCA/QC/16 Método de Referencia: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 24th Edition Método 4500 -H+B
Sulfato*		mg/l	35	-	-	-	Método de Referencia: Spectroquant
Cobre*		mg/kg	79,74	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/22 Método de Referencia Standard Methods Ed. 23, 2024 3111
Hierro*		mg/kg	9.510,98	-	-	-	PEE/CESECCA/MP/25 Método de Referencia Standard Methods Ed. 23, 2024 3111

Observaciones:

Muestreo realizado Por: El cliente (X) El laboratorio ()

- Nota 1: Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.
 Nota 2: El laboratorio CE.SE.C.A se responsabiliza por la confiabilidad de la información y los resultados obtenidos en la muestra recibida o tomada por el laboratorio.
 Nota 3: Para la declaración de conformidad se considerará el resultado con el intervalo de incertidumbre. Esto permite obtener una probabilidad de confianza del 95%.
 Nota 4: Para quejas, reclamos o sugerencias realizarnos a través de la página web: www.uleam-epec.gob.ec o al correo electrónico: cesecca@uleam-epec.gob.ec
 Nota 5: El Laboratorio CE.SE.C.A mantiene un Sistema de Gestión bajo la normativa NTE ISO/IEC 17025:2018, con acreditación ante el Servicio de Acreditación Ecuatoriano N° SAE IEN 08-004.
 Nota 6: Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

N/A: No aplica
 ND: No detectable


 Ing. Fernando Veloz Paraga
 Director General
 CESECCA



+593 980 847 908
 Av. Circunvalación - Vía San Mateo
cesecca@uleam-epec.gob.ec
www.uleam-epec.gob.ec

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo Ministerial No. 149. (2009). Registro Oficial No. 412. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador.
<https://www.eluniverso.com/2009/03/19/1/1447/3837B56A460B4B699F8762CF838D42D8.html>
- Alonso, J. J., Cánovas, A., De la Prieta, R., Pereira, T., Ruiz, C., & Aguirre, C. (2002). Conceptos generales sobre el metabolismo del hierro. *Gaceta Médica de Bilbao*, 99(2), 33-37.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4858\(02\)74392-8](https://doi.org/10.1016/S0304-4858(02)74392-8)
- Barzola Orrala, L. G. (2026). Análisis del crecimiento de semillas de *Anadara tuberculosa* concha prieta aplicando ocho dietas en condiciones controladas.
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/16210>
- Becerra, E. (2020). Análisis del grado de contaminación por metales pesados en sedimentos de ecosistemas acuáticos (Tesis de licenciatura). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/24003>
- Carpio, E. P., Soto, M. M., Díaz, A. M., Armijos, C. C., Minuche, P. R., Reyes, J. C., & Monroy, C. R. (2020). Importancia de la producción de la concha prieta (*Anadara tuberculosa*) en las costas ecuatorianas. *Revista ESPAMCIENCIA*, 11(1), 34-46.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8278241>
- Cedeño Vines, K. G. (2023). Determinación de metales pesados (Pb y Cd) en conchas negras *Anadara tuberculosa* en los sectores del Golfo de Guayaquil mediante Espectroscopía de

Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). *ESPOL. FCNM*.
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58660>

Chalen Santos, W. S. (2022). *Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en bivalvos en provincias costeras del Ecuador por medio de recopilación bibliográfica* (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2022).
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8113>

Doney, S. C., Busch, D. S., Cooley, S. R., & Kroeker, K. J. (2020). The impacts of ocean acidification on marine ecosystems and reliant human communities. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 83–112. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083019>

Environmental Protection Agency (EPA). (2001). *Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Estuarine and Coastal Marine Waters*. U.S. EPA Office of Water.
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/nutrient-criteria-manual-estuarine-coastal.pdf>

Environmental Protection Agency (EPA). (2018). *Drinking Water Contaminants – Standards and Regulations*. <https://www.epa.gov/sdwa/drinking-water-regulations-and-contaminants>

Garofalo, L., Sala, M., Focardi, C., Pasqualetti, P., Delfino, D., D’Onofrio, F., Droghei, B., Pasquali, F., Nicolini, V., Galli, F. S., Scaramozzino, P., Ubaldi, A., Russo, K., & Neri, B. (2025). Monitoring of Cadmium, Lead, and Mercury Levels in Seafood Products: A Ten-Year Analysis. *Foods*, 14(3), 451. <https://doi.org/10.3390/foods14030451>

Gilberto Genaro Ortega Lizárraga, Maleny Lizárraga Rojas, Lorenia Guadalupe Gómez Medina, Juan Eduardo Guzmán-Ibarra, Horacio A. Muñoz Rubí, Mendivil-Mendoza, JE, y Aragón-Noriega, EA (2024). Estimación del crecimiento y tamaño en la primera madurez bajo un enfoque multimodelo de *Anadara tuberculosa*. *Journal of Marine Science and Engineering* , 12(1) , 48. <https://doi.org/10.3390/jmse12010048>

González, V., Valle, S., Nirchio, M., Olivero, J., Tejada, L., Valdelamar, J., ... & González, K. (2018). Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 21(41), 75-82. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v21i41.14995>

Izquierdo Pérez, Á. (2024). Bioacumulación de Metales Pesados en Crustáceos de Tenerife (Islas Canarias). <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/39191>

Kennish, M. J. (2002). Environmental threats and environmental future of estuaries. *Environmental Conservation*, 29(1), 78–107. <https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/abs/environmental-threats-and-environmental-future-of-estuaries/830CE2DF3F482B87AA60ADAB773906D6>

Lionetto, MG, Caricato, R. y Giordano, ME (2021). Biomarcadores de contaminación en el marco de la conservación de la biodiversidad marina: estado del arte y perspectivas. *Water*, 13 (13), 1847-1865. <https://doi.org/10.3390/w13131847>

Mendoza Angulo, H. M. (2014). *Niveles de acumulación de metales pesados y contaminantes orgánicos en moluscos bivalvos del género anadara y su vinculación con actividades económicas en la provincia de Esmeraldas como base para una propuesta de regulación de límites máximos permisibles para consumo humano* (Doctoral dissertation, PUCE-Esmeraldas). <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/37583>

Mieles-Giler, J. W. (2024). Efectos de la Contaminación Plástica en los Ecosistemas Marinos: Un Análisis Actualizado. *Horizon Nexus Journal*, 2(3), 18-30. <https://doi.org/10.70881/hnj/v2/n3/2>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). Cadmium. World Health Organization. <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/chemical-safety-and-health/health-impacts/chemicals/cadmium>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2024). Mercury and health. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mercury-and-health>

Palate Cagua, A., Kevin Danilo Ocaña Balcázar (2022). Plomo, Cadmio, Arsénico y Mercurio en sedimentos superficiales en el interior del estuario Jambelí, El Oro, Ecuador Repositorio ESPOL, 12-30. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/55630/1/T-76801%20Palate%20Cagua.pdf>

Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., & Zambrano, J. (2019). Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador. *Manglares de América*, 1, 423-466. https://www.researchgate.net/profile/Beatriz-Pernia/publication/337424161_IMPACTOS_DE_LA_CONTAMINACION SOBRE LO

[S MANGLARES DE ECUADOR/links/5dd69eada6fdcc5b17c575de/IMPACTOS-DE-LA-CONTAMINACION-SOBRE-LOS-MANGLARES-DE-ECUADOR.pdf](https://doi.org/10.3390/su131910863)

Prado-Carpio, E., de Lourdes Olivo-Garrido, M., Quiñonez-Cabeza, M., Beitzl, CM, Martínez-Soto, M., & Rodríguez-Monroy, C. (2021). Desempeño y Desafíos en la Cadena de Valor del Molusco Bivalvo *Anadara tuberculosa* en Ecuador. *Sostenibilidad* , 13 (19), 10863.

<https://doi.org/10.3390/su131910863>

Quispe Yana, R. F., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H. N., Huaquisto Cáceres, S., Calatayud Mendoza, A. P., & Yábar Miranda, P. S. (2019). Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Boliviana de*

Química, 36(2), 83-90. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602019000200003&script=sci_arttext

Resolución N° 209-2001-PE — Tallas mínimas de captura y tolerancia máxima de ejemplares juveniles de principales peces marinos e invertebrados. Ministerio de la Producción del Perú. (2001). Resolución Ministerial N° 209-2001-PE. Lima, Perú.

<https://www.informea.org/es/legislation/resoluci%C3%B3n-n%C2%BA-20901pe-tallas-m%C3%ADnimas-de-captura-y-tolerancia-m%C3%A1xima-de-ejemplares>

Robles Urgilez, M. D. (2024). Seguridad alimentaria: Riesgo asociados Metales Pesados sobre la salud humana. *Journal of American Health*, 7(2). Recuperado a partir de

<https://www.jah-journal.com/index.php/jah/article/view/204>

Santana Faubla, M. D. (2020). Evaluación del riesgo de contaminación por Metales Pesados en sedimentos de manglar en Ecuador. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/51361>

- Santos, B. M. P., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez-Prado, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D., Muñoz, J., & Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89–105.
<https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.246>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2001). Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Estuarine and Coastal Marine Waters (EPA-822-B-01-003).
<https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-10/documents/nutrient-criteria-manual-estuarine-coastal.pdf>
- Vega, Á. J., Alvarado, O., Cedeño-Mitre, C., & Robles, Y. A. (2021). Estructura de tallas, distribución y abundancia de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en dos sistemas de manglar del Pacífico de Panamá. *Revista de Biología Tropical*, 69(2), 422-433.
<https://dx.doi.org/10.15517/rbt.v69i2.43934>
- Xavier Carchi, Nikita Gaibor, Moreno, J., Carlos Alemán, Lisette Ramírez (2019). Los acuerdos de uso sostenible y custodia de manglar y su impacto en el recurso concha prieta (*Anadara tuberculosa*) en la provincia de Esmeraldas. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/339913243_Los_acuerdos_de_uso_sostenible_y_custodia_de_manglar_y_su_impacto_en_el_recurso_concha_prieta_Anadara_tuberculosa_en_la_provincia_de_Esmeraldas