



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

**REVISIÓN SISTEMÁTICA PARA LA EVALUACIÓN DE MOLUSCOS
BIVALVOS COMO BIOINDICADORES DE METALES PESADOS EN
ECOSISTEMAS MARINOS**

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero/a en Biotecnología*

AUTORES:

ERICK FABIÁN BERNAL ESPINOZA
DEBBIE SOMAY SAAVEDRA MESIAS

TUTOR:

MSc. MARIA ALEJANDRA DE LA CRUZ MORA

GUAYAQUIL – ECUADOR

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, **Erick Fabián Bernal Espinoza** con documento de identificación N° 1316668977 y **Debbie Somay Saavedra Mesias** con documento de identificación N° 0928441377; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,



Erick Fabián Bernal Espinoza

CI: 1316668977



Debbie Somay Saavedra Mesias

CI: 0928441377

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Erick Fabián Bernal Espinoza** con documento de identificación N° 1316668977 y **Debbie Somay Saavedra Mesias** con documento de identificación N° 0928441377, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo experimental: **REVISIÓN SISTEMÁTICA PARA LA EVALUACIÓN DE MOLUSCOS BIVALVOS COMO BIOINDICADORES DE METALES PESADOS EN ECOSISTEMAS MARINOS**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero/a en Biotecnología*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,



Erick Fabián Bernal Espinoza

CI: 1316668977



Debbie Somay Saavedra Mesias

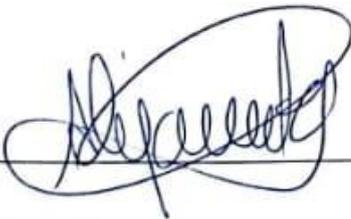
CI: 0928441377

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **María Alejandra de la Cruz Mora** con documento de identificación N° 1003233689, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **REVISIÓN SISTEMÁTICA PARA LA EVALUACIÓN DE MOLUSCOS BIVALVOS COMO BIOINDICADORES DE METALES PESADOS EN ECOSISTEMAS MARINOS**, realizado por **Erick Fabián Bernal Espinoza** con documento de identificación N° 1316668977 y **Debbie Somay Saavedra Mesías** con documento de identificación N° 0928441377, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 10 de febrero del año 2025

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'María Alejandra de la Cruz Mora', is written over a horizontal line.

María Alejandra de la Cruz Mora

CI: 1003233689

Dedicatoria Fabián Bernal

A mis padres, pilares fundamentales en mi vida, cuyo esfuerzo incansable, amor incondicional y sabias enseñanzas me han guiado en cada paso. Sus vidas siempre han sido mi mayor inspiración y el amor con el cual han formado esta familia es el motor que me impulsa a alcanzar mis metas, a ellos les debo todo lo que soy, lo que he logrado y lo que voy a lograr.

A mi hermana, mi mejor amiga y enemiga desde que tengo memoria, por ser mi cómplice en la vida, por su cariño infinito, por llenar mis días de alegría, alguien que ya no puedo ver todos los días ni todas las semanas, pero con el pasar del tiempo la quiero cada vez más. Su presencia ha sido un regalo y siempre será parte del motor que mueve mi vida.

A mi familia, mis tíos y abuelos por su cariño, apoyo y porque siempre han estado pendientes de mí y me han ayudado en todo momento.

A mis compañeros y amigos, por su respaldo, por las risas compartidas desde el primer momento y por hacer que cada día de este viaje fuera más llevadero y enriquecedor. Su compañía en el transcurso de estos años ha sido invaluable.

A mi amiga Debbie, por atreverse a compartir este trayecto conmigo, por su apoyo en todo momento y por ser la maravillosa persona que es. Gracias por tu esfuerzo, dedicación y perseverancia, es para mí un privilegio compartir este logro contigo.

Dedicatoria Debbie Saavedra

Con el corazón lleno de gratitud quiero dedicar este logro a las personas que han sido el faro que ilumina mi camino y el motor que impulsa mis sueños:

A mis padres, Freddy y Danny, cuyo amor incondicional ha sido el cimiento sobre el que he construido mi vida. Gracias por su esfuerzo incansable, por las noches en vela y los sacrificios silenciosos que me permitieron llegar hasta aquí. Sus enseñanzas me han guiado en cada paso y me han convertido en la persona que soy hoy.

A mis hermanos, Allison y Lian, compañeros de risas y confidentes incondicionales. Su cariño, complicidad y alegría contagiosa han sido un regalo invaluable en mi camino. Gracias por cada abrazo, cada palabra de aliento y cada momento compartido.

A Gabriel, Jonathan y Adriana, la vida me ha regalado la fortuna de cruzarme con almas increíbles que han enriquecido mi camino de maneras que jamás imaginé. Gracias por ser mi refugio en los días grises, por celebrar conmigo los triunfos y por levantarme cuando tropiezo.

A mis amigos de la carrera, compañeros de aventuras y cómplices de sueños. Su respaldo inquebrantable y su amistad sincera han hecho que cada día sea más ameno y llevadero. Gracias por las risas compartidas, los desafíos superados juntos y los recuerdos inolvidables de esta etapa que atesoraré por siempre.

Fabián, amigo y compañero de tesis, tu ingenio, dedicación y colaboración fueron fundamentales para superar cada desafío. Gracias por las incontables horas de estudio, las ideas brillantes y el aliento constante. Este logro también es tuyo.

A todos ustedes, mi familia y amigos, les dedico este logro con gratitud y amor, pues su apoyo ha sido fundamental para alcanzar esta meta y los llevaré siempre en mi corazón.

Agradecimientos

A la Universidad Politécnica Salesiana y a la Carrera de Biotecnología que nos abrieron sus puertas para brindarnos una formación académica de excelencia. Durante nuestra etapa universitaria, adquirimos conocimientos sólidos, desarrollamos habilidades valiosas y descubrimos nuestra pasión por la biotecnología.

Al departamento de microbiología de Bureau Veritas que abrieron sus puertas para guiarnos con su conocimiento profesional en un entorno real.

A nuestros docentes, por compartir sus conocimientos y contribuir a nuestro desarrollo académico. Su compromiso con la enseñanza y la excelencia académica dejó una huella imborrable en nuestra formación.

A la MSc. Alejandra de la Cruz, tutora de tesis. Su paciencia, orientación y apoyo fueron pilares fundamentales para la culminación de este proyecto. Agradecemos su confianza y su aliento constante para superar los desafíos, y ser una guía en el desarrollo de nuestra investigación.

Resumen

Los ecosistemas acuáticos son entornos complejos donde los organismos interactúan constantemente con factores ambientales que determinan su equilibrio ecológico. La contaminación por metales pesados, producto de actividades industriales y mineras, representa una de las amenazas más críticas para estos sistemas, ya que dichos elementos poseen alta toxicidad, persistencia y capacidad de bioacumulación a lo largo de la cadena trófica. En este contexto, los moluscos bivalvos han surgido como potenciales bioindicadores debido a su amplia distribución, vida sedentaria y notable capacidad de filtración. De forma particular, en los ecosistemas marinos de Ecuador, especies como *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis* destacan por su capacidad para reflejar la calidad ambiental mediante la acumulación de metales pesados en órganos clave como el hepatopáncreas y las branquias.

La presente investigación se enfoca en una revisión sistemática sobre el potencial de estas especies como herramientas de monitoreo ambiental, considerando su distribución en la costa ecuatoriana. Del análisis bibliométrico se obtuvieron 490 artículos en la búsqueda inicial, de los cuales, 9 de ellos cumplieron los criterios establecidos y lograron responder las preguntas de investigación. En la provincia de Guayas, más del 70% de las zonas muestreadas presentan concentraciones de cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) que exceden los límites establecidos por la normativa nacional (0,5 mg/kg, 0,1 mg/kg y 19 mg/kg, respectivamente). Se destaca la capacidad de estas especies para sintetizar metalotioneínas, proteínas asociadas a la regulación de metales tóxicos, reforzando su valor como bioindicadores confiables. La importancia del biomonitoreo con bivalvos no solo para la detección de contaminantes, sino también para identificar patrones de acumulación a lo largo del tiempo, proporcionando información fundamental para la formulación de políticas ambientales, estrategias de conservación y mitigación de la contaminación en los ecosistemas acuáticos del Ecuador.

Palabras clave: bivalvos, bioindicadores, bioacumulación, metales pesados, contaminación.

Abstract

Aquatic ecosystems are complex environments where organisms continuously interact with environmental factors that determine their ecological balance. Heavy metal pollution, largely resulting from industrial and mining activities, poses one of the most critical threats to these systems due to the high toxicity, persistence, and bioaccumulation potential of these elements throughout the food chain. In this context, bivalve mollusks have emerged as potential bioindicators due to their wide geographical distribution, sedentary lifestyle, and remarkable filtration capacity. In the marine ecosystems of Ecuador, species such as *Anadara tuberculosa* and *Mytella guyanensis* stand out for their ability to reflect environmental quality through the accumulation of heavy metals in key organs such as the hepatopancreas and gills.

This study focuses on a systematic review of the potential use of these species as environmental monitoring tools, considering their distribution along the Ecuadorian coast. From the bibliometric analysis, 490 articles were obtained in the initial search, of which 9 of them met the established criteria and managed to answer the research questions. The analysis reveals that in the province of Guayas, more than 70% of the sampled areas exhibit concentrations of cadmium (Cd), lead (Pb), and mercury (Hg) that exceed national regulatory limits (0.5 mg/kg, 0.1 mg/kg, and 19 mg/kg, respectively). The ability of these species to synthesize metallothioneins, proteins associated with the regulation of toxic metals, reinforces their value as reliable bioindicators. This review highlights the importance of bivalve-based biomonitoring not only for contaminant detection but also for identifying accumulation patterns over time, providing fundamental information for the formulation of environmental policies, conservation strategies, and contamination mitigation measures in Ecuadorian aquatic ecosystems.

Keywords: bivalves, bioindicators, bioaccumulation, heavy metals, contamination.

Índice de contenido

Capítulo 1.....	1
Antecedentes.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos.....	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos	6
Capítulo 2.....	7
Marco teórico	7
2.1. Ecosistemas.....	7
2.1.1. Ecosistemas Marinos en el mundo.....	7
2.1.2. Ecosistemas Marinos en Ecuador.....	8
2.1.3. Ecosistemas Marinos en Guayaquil	8
2.2. Moluscos.....	9
2.2.1. Moluscos Bivalvos	9
2.2.3. <i>Anadara tuberculosa</i>	10
2.2.4. <i>Mytella guyanensis</i>	11
2.3. Aplicaciones Biotecnológicas.....	12
2.3.1. Biorremediación.....	12
2.3.2. Biotransformación	13
2.3.3. Biomineralización	13
2.4. Bioindicadores	14
2.4.1. Metales Pesados.....	14
2.4.2 Clasificación de metales pesados	15
2.5. Riesgos en la Salud Humana.....	16
2.5.1. Toxicocinética	16
2.5.2. Órganos Afectados y Enfermedades	16
2.6. Impacto Ambiental	16
2.6.1. Bioacumulación	16
2.6.2. Biomagnificación	17
Capítulo 3.....	18

Materiales y Métodos.....	18
3.1. Fase de Búsqueda (SEARCH)	19
3.1.1. <i>Objetivo de la búsqueda</i>	19
3.1.2. <i>Bases de datos</i>	19
3.1.3. <i>Estrategias de búsqueda</i>	19
3.1.4. <i>Herramientas de complemento</i>	20
3.2. Fase de Evaluación (APPRAISAL)	20
3.2.1. <i>Selección inicial</i>	20
a. Criterios de inclusión	20
b. Criterios de exclusión	21
3.3. Fase de Síntesis (SYNTHESIS)	21
3.3.1. <i>Agrupación de datos</i>	21
3.3.2. <i>Categorías temáticas</i>	21
3.4. Fase de Análisis (ANALYSIS)	22
3.4.1. <i>Interpretación de resultados</i>	22
Capítulo 4.....	23
Resultados y Discusión	23
4.1. Análisis Bibliométrico	23
4.2. Contaminación de ecosistemas acuáticos por metales pesados dentro de la provincia de Guayas-Ecuador	25
4.3. Mecanismos que facilitan el proceso de bioacumulación de metales pesados	27
4.3.1. <i>Mecanismos genéticos</i>	27
4.3.2. <i>Mecanismos fisiológicos</i>	29
Conclusiones.....	31
Recomendaciones	32
Bibliografía	33
Anexos.....	42

Índice de Tablas

Tabla 1. Taxonomía de <i>Anadara tuberculosa</i> y <i>Mytella guyanensis</i>	12
Tabla 2. Clasificación de metales pesados en esenciales y no esenciales	15
Tabla 3. Artículos seleccionados que responden a las preguntas de investigación.	24
Tabla 4. Límite máximo establecido por las normas nacionales y normas canadienses de cadmio, plomo y mercurio.	26

Índice de figuras

<i>Figura 1. Zonas del océano.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 2. Biorremediación en la cadena trófica.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3. Diferencias entre bioacumulación y biomagnificación.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 4. Esquema de metodología general.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5. Esquema de selección de artículos científicos.....</i>	<i>23</i>
<i>Figura 6. Número de trabajos que evalúan la estructura primaria de metalotioneínas en bivalvos.....</i>	<i>28</i>

Índice de Anexos

Anexo 1. Distribución geográfica de <i>Anadara tuberculosa</i>	42
Anexo 2. Anatomía externa de los bivalvos	42
Anexo 3. Anatomía interna de los bivalvos.....	43
Anexo 4. Género <i>Mytella</i> (A) anatomía externa, (B) anatomía interna.....	43
Anexo 5. Detalles del Framework SALSA.....	44
Anexo 6. Búsqueda primaria por palabras clave	44

Capítulo 1

Antecedentes

1.1. Introducción

Los ecosistemas acuáticos comprenden una vasta diversidad de organismos que coexisten en un entorno dinámico, interactuando de forma constante con factores ambientales que influyen en la distribución de las especies, su abundancia y la estabilidad de las poblaciones nativas, estos ecosistemas, que incluyen cuerpos de agua dulce y marinos, se caracterizan por una compleja red de relaciones ecológicas donde los factores fisicoquímicos, como la temperatura, el pH, la salinidad, el oxígeno disuelto y la presencia de contaminantes, juegan un papel crucial en la determinación de la salud y sostenibilidad del ambiente acuático (Naciones Unidas, 2017). Las comunidades biológicas, como el fitoplancton, el zooplancton, los macroinvertebrados bentónicos, bivalvos y los peces, son particularmente relevantes para el monitoreo ecológico, ya que responden de manera sensible a los cambios en la calidad del agua, lo que las convierte en excelentes bioindicadores (Del Cisne & Lucin, 2015).

A lo largo de los años diversos factores han contribuido a la contaminación de estos ecosistemas fundamentales, entre ellos, la exposición a metales pesados, esto ha sido una amenaza ambiental de gran magnitud, no solo por su persistencia y toxicidad, sino también por su capacidad de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica, la presencia de metales pesados como el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el mercurio (Hg) y arsénico (As) en estos entornos representan una amenaza significativa, ya que pueden alterar procesos biológicos esenciales, afectar la reproducción, el crecimiento de los organismos, deteriorar la calidad del agua, comprometiendo su uso para el consumo humano y actividades productivas (Castro, Sánchez, Moreno, & Reyes, 2019).

(Singh & Gupta, 2021) han señalado que los metales pesados pueden acumularse tanto en el agua como en los sedimentos, lo que representa una amenaza significativa para la salud de los organismos acuáticos. En este contexto, los moluscos bivalvos han sido ampliamente reconocidos como biomonitores eficaces de la contaminación por metales pesados en los ecosistemas marinos, debido a su amplia distribución geográfica, su estilo de vida sedentario y sésil, y su capacidad de filtración, estas características les permiten estar en contacto constante con su entorno, facilitando la bioacumulación de distintos contaminantes en sus tejidos a una velocidad mayor en comparación con otros organismos.

El catálogo de bivalvos marinos del Ecuador (Mora, 1990) describe 114 especies de bivalvos agrupados dentro de 26 familias, entre ellos *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis*, estos invertebrados, debido a su naturaleza filtrada, presentan una alta eficiencia en la acumulación de estos metales a partir del entorno acuático, lo que ocurre a través de su sistema respiratorio y alimentario, su capacidad de bioacumulación los convierte en organismos centinela ideales para la evaluación de la contaminación en ecosistemas acuáticos mediante biomonitoreo.

El biomonitoreo se basa en la recolección de muestras, el análisis de tejidos y la evaluación de fluidos biológicos en moluscos bivalvos, proporcionando datos valiosos sobre la presencia y concentración de metales pesados en el ambiente, la aplicación del biomonitoreo con bivalvos no solo facilita la detección temprana de contaminantes, sino que también permite establecer patrones de acumulación a lo largo del tiempo, aportando información fundamental para la gestión ambiental y la toma de decisiones en políticas de conservación y saneamiento de los ecosistemas acuáticos. (Páez & Osuna, 2012).

Debido a su capacidad para acumular metales pesados de manera proporcional a las concentraciones presentes en el medio, la carga corporal de metales en los moluscos se considera un indicador confiable de la contaminación ambiental en ecosistemas acuáticos que permite no solo evaluar la presencia y niveles de contaminación en el agua, sino también en los sedimentos, proporcionando una visión integral de la calidad del entorno, así el uso de moluscos como biomonitores se presenta como una herramienta efectiva para la vigilancia ambiental, permitiendo identificar tendencias de contaminación a lo largo del tiempo y contribuyendo al desarrollo de estrategias de restauración de los ecosistemas marinos (Lango, Landeros, & Castañeda, 2010).

El propósito de esta investigación es realizar una revisión sistemática sobre el uso de moluscos bivalvos como bioindicadores de contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos con un enfoque en especies presentes distribuidas en la costa ecuatoriana buscando resaltar la capacidad bioacumuladora de estos organismos y su eficacia para reflejar el estado del medio en el que se desarrollan. De esta manera, se pretende contribuir al conocimiento sobre su potencial como herramientas de monitoreo ambiental, proporcionando una base científica que respalde su aplicación en estrategias de control y mitigación de la contaminación en el Ecuador.

1.2. Planteamiento del problema

En Ecuador, la contaminación por metales pesados se ha convertido en una problemática ambiental cada vez más crítica en zonas cercanas a actividades mineras e industriales, la exposición a metales pesados, en especial, el mercurio (Hg), el plomo (Pb) y el cadmio (Cd), es una preocupación creciente, la explotación minera en regiones como la Amazonía ecuatoriana han incrementado los niveles de mercurio en los ríos y cuerpos de agua, lo que ha generado una exposición directa a las comunidades indígenas y rurales que dependen de estos recursos hídricos para su subsistencia (Calderón, Carpio, & Galarza, 2024). Además,

en el año 2018 se reportaron 29,6 toneladas de mercurio liberadas al ambiente por actividades mineras, lo cual representa un riesgo grave, ya que el contaminante interacciona con el medio ambiente acumulándose y provocando contaminación (Ministerio del Ambiente, 2020).

El plomo (Pb) es otro metal pesado presente en Ecuador debido a actividades como la minería, la industria automotriz, la contaminación en zonas urbanas y suburbanas, donde la contaminación por plomo se ve exacerbada por el uso de combustibles fósiles con alto contenido de plomo, el mal manejo de residuos industriales y la exposición a pinturas antiguas que aún contienen este metal (Calero, 2023).

Por otro lado, el cadmio (Cd), está presente en suelos contaminados debido a la actividad agrícola, la minería y la industria, el uso indiscriminado de fertilizantes y pesticidas con cadmio, junto con la contaminación de los suelos por residuos industriales, puede aumentar la presencia de este metal en los alimentos, poniendo en riesgo la salud de las personas (Mero, y otros, 2019).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró que en el año 2016 aproximadamente 13,7 millones de muertes a nivel mundial, lo que equivale al 24% de defunciones totales, estuvieron asociados a riesgos ambientales modificables. Esto implica que una de cada cuatro muertes en el mundo puede estar relacionada con factores ambientales (Organización Mundial de la Salud, 2016). Los riesgos por exposición a estos metales pesados son similares entre sí, de esta manera, las afecciones pueden ser resumidas en problemas para el sistema nervioso, la salud reproductiva, el sistema inmunológico, el sistema renal y el sistema cardiovascular. (Ministerio del Ambiente, 2020).

1.3. Justificación

Es imperativo la implementación de mecanismos de biomonitoreo en los ecosistemas acuáticos afectados, ya que estos permiten una evaluación precisa y continua del nivel de contaminación presente. A través del biomonitoreo con moluscos bivalvos, es posible obtener una perspectiva realista sobre la magnitud del problema, lo que facilita el desarrollo e implementación de estrategias de biorremediación efectiva. Estas estrategias, aplicadas de manera oportuna y sostenida, pueden contribuir significativamente a la reducción del impacto ambiental causado por la acumulación de metales pesados en los cuerpos de agua, promoviendo la recuperación progresiva de los ecosistemas en los próximos años.

En este contexto, la presente investigación recopila información relevante sobre el uso de moluscos bivalvos como bioindicadores de contaminación por metales pesados, proporcionando datos esenciales que pueden servir como base para el establecimiento de criterios técnicos y metodológicos de monitoreo ambiental, teniendo como referencia a las especies *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis*, ya que están distribuidas en casi todos los ecosistemas acuáticos de nuestro país y han sido catalogadas como bioacumuladoras de contaminantes.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad de *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis* como bioindicadores de contaminación por metales pesados en Guayas-Ecuador a través de una revisión sistemática.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar cuáles son las principales características fisiológicas y ecológicas que facilitan la bioacumulación de metales pesados en estas especies.

Indagar acerca del nivel de contaminación por metales pesados en ambientes donde están distribuidos estas especies.

Realizar evaluaciones bibliométricas sobre la incidencia de metales pesados en moluscos bivalvos, mediante el uso de VOSviewer.

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Ecosistemas

Se define como un sistema biológico el cual está constituido por una comunidad de organismos vivos llamado biocenosis, y el medio físico donde se relacionan conocido como biotopo, es una red compleja de interacciones entre seres vivos con su entorno físico que implica un ciclo de nutrientes, así como un flujo de energía que puede dividirse en: ecosistemas terrestres, ecosistemas acuáticos y ecosistemas mixtos (Tsujimoto, Kajikawa, Tomita, & Matsumoto, 2018).

2.1.1. *Ecosistemas Marinos en el mundo*

Según Kim & Venkatesan en el 2015, los ecosistemas marinos son sistemas complejos y dinámicos que cubren un 71% de la superficie terrestre ayudando con la regulación del clima, producción de oxígeno y la biodiversidad se encuentran interconectados por medio de corrientes oceánicas y patrones migratorios de especies acuáticas, pueden ser clasificados en diversas zonas evidenciadas en la Figura 1:

- ***Zona Costera***

Esta es una zona de transición entre el mar y la tierra la cual está caracterizada por una gran actividad de producción biológica y la diversidad de especies (Lomovasky, Osiroff, Yusseppone, & Kahl, 2022).

- ***Zona Oceánica***

Es la parte poco profunda del océano situada sobre la plataforma continental (Kim & Venkatesan, 2015).

- **Zona Bentónica**

Correspondiente al fondo marino donde habitan organismos que se han adaptado para vivir en el sedimento (Lomovasky, Osiroff, Yusseppone, & Kahl, 2022).

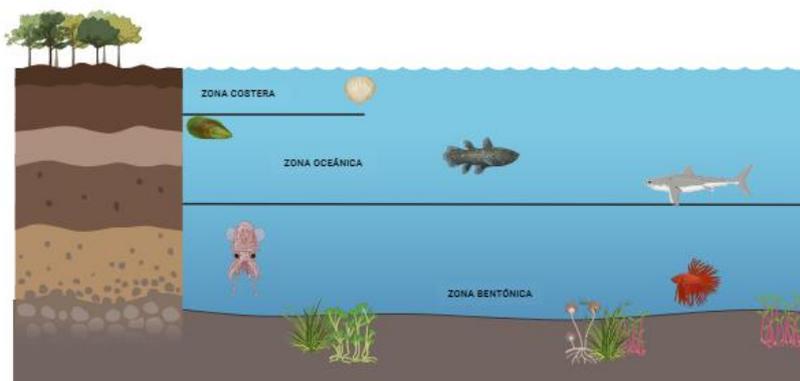


Figura 1. Zonas del océano.

Adaptado de: (Kim & Venkatesan, 2015)

Fuente: Elaboración propia, 2025.

2.1.2. Ecosistemas Marinos en Ecuador

Ecuador forma parte de los tres países de América Latina con la mayor cantidad de ecosistemas marinos reconocidos a nivel mundial, según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en el 2021, estos sistemas marinos son fundamentales para la biodiversidad del país, distribuido en las Islas Galápagos, la costa continental que cuenta con una extensión de 2.860km, y el Golfo de Guayaquil como una de las zonas donde hay mayor productividad y actividad pesquera (Puente, Quintana, & González, 2021).

2.1.3. Ecosistemas Marinos en Guayaquil

El Golfo de Guayaquil se encuentra situado entre Cabo Blanco (Perú) y la puntilla de Santa Elena en la Provincia del Guayas (Ecuador), abarca más de 230km convirtiéndolo en la entrante de agua más grande del océano Pacífico en América del Sur, esta zona presenta

afectaciones en los niveles de metales pesados producto de actividades como la descarga de aguas residuales que contribuye a la eutrofización, la descarga de efluentes industriales y la sobreexplotación de recursos pesqueros (Lomovasky, Osiroff, Yusseppone, & Kahl, 2022).

El ecosistema marino en Guayaquil se caracteriza por su diversidad biológica tanto en estuarios como en manglares, albergando una gran variedad de peces, crustáceos, moluscos y otros invertebrados que son fundamentales para el desarrollo de un ecosistema productivo (Acosta, Alfonso, & Dennise, 2021).

2.2. Moluscos

Los moluscos (Mollusca) constituyen uno de los filos más abundantes con gran diversidad del reino animal, se distribuyen en ambientes marinos y terrestres, caracterizándose por su cuerpo blando protegido por una concha, además de sus variaciones en forma y tamaño, se dividen en varias clases: Bivalvia que se alimentan filtrando el agua y su concha está dividida en dos valvas; Gastropoda, generalmente protegidos por una concha en espiral; Cephalopoda, aquellos de cabeza desarrollada y tentáculos sin concha externa; Poliplacophora, su concha está dividida en ocho placas; y Scaphopoda que tiene una concha tubular abierta en sus extremos (Gordillo, 2021).

2.2.1. Moluscos Bivalvos

Los bivalvos son moluscos que filtran aguas, ya sean dulces o marinas, funcionando como sujetos de observación de determinadas alteraciones ambientales y bioacumuladores de diversas clases de sustancias, el mejillón común, especialmente, es un bioindicador útil, dado que muestra algunas características relevantes, tales como su distribución global, su conducta sedentaria y su coste de suministro, estos organismos permiten analizar el efecto de un evento específico en la condición de un ecosistema y pronosticar, con una cierta aproximación, los peligros ambientales (Carrasco & Webster, 2016).

Según Brito y Mora en el 2016, en el Ecuador existen 85 especies de moluscos bivalvos correspondientes a 26 familias, distribuidas en la primera milla náutica de la costa ecuatoriana, en la provincia del Guayas existen 30 especies registradas de la clase Bivalvia, cantidad que la ubica por debajo del resto de provincias del perfil costero ecuatoriano, sin embargo, cuenta con el mayor número de familias de moluscos bivalvos reconocidos, un total de 20, de las cuales destacan las familias Arcidae y Mytilidae.

2.2.3. *Anadara tuberculosa*

También conocida como concha de manglar, es un molusco bivalvo presente en los ecosistemas costeros de Latinoamérica, especialmente en manglares, habita enterrado entre las raíces de los mangles o en el sedimento desde México (Baja California), pasando por las costas de Ecuador (Esmeraldas – Golfo de Guayaquil), hasta Perú (Tumbes), según se detalla en el Anexo 1 (Ramos, 2018).

Esta especie presenta una anatomía adaptada a la vida sésil de los sedimentos marinos, de manera externa, cuenta con una concha robusta cubierta de tubérculos y costillas, evidenciadas en el Anexo 2, en el interior de la concha el tejido blando se encuentra protegido por las dos valvas, con branquias especializadas para la filtración de su alimento, así como la obtención del oxígeno del agua, entre sus otras partes internas destacan un pie muscular utilizado para excavar en el sedimento, así como un manto que ayuda a secretar la concha y proteger los órganos vitales, adicional, cuenta con estructuras tubulares denominadas sifones que se extienden por fuera de la concha para la ingestión de alimento, así como la expulsión de los desechos, según se presenta en el Anexo 3 (Ramos, 2018).

2.2.4. *Mytella guyanensis*

Conocida como mejillón guyanés, es una especie de bivalvo distribuido ampliamente en las costas tropicales y subtropicales del Atlántico occidental, así como del Pacífico, su hábitat son las zonas intermareales rocosas, aunque también se la puede encontrar en estuarios y manglares en constante contacto con el agua salobre, en Ecuador está distribuida a lo largo de toda la costa, desde la frontera con Colombia hasta la frontera con Perú (Forero, Baren, Granda, Cevallos, & Jarrín, 2019).

Mytella guyanensis tiene una anatomía que se adapta a su vida fija en ambientes intermareales, de manera externa, posee una concha alargada caracterizada por ser de color oscuro con líneas de crecimiento marcadas, por dentro, se encuentra el cuerpo blando protegido por las dos valvas, con branquias filtradoras de alimento y oxígeno proveniente del agua, donde su pie muscular le permite adherirse a los sustratos, mientras que su haz de filamentos proteico actúa como un ancla, según se detalla en el Anexo 4, como en otras especies de bivalvos, cuenta con sifones para realizar el intercambio gaseoso y la alimentación, además, mediante su manto puede proteger sus órganos vitales y secretar la concha (Gordillo, 2021).

En la tabla 1 se evidencia la clasificación científica tanto de *Andara tuberculosa* (concha) como de *Mytella guyanensis* (mejillón).

Tabla 1.

Taxonomía de *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis*

	Concha	Mejillón
Dominio	Eukaryota	Eukaryota
Reino	Animalia	Animalia
Filo	Mollusca	Mollusca
Clase	Bivalvia	Bivalvia
Orden	Arcoida	Mytilida
Familia	Arcidae	Mytilidae
Género	<i>Anadara</i>	<i>Mytella</i>
Especie	<i>Anadara tuberculosa</i>	<i>Mytella guyanensis</i>
Referencia	(Sowerby, 1833)	(Lamarck, 1819)

2.3. Aplicaciones Biotecnológicas

2.3.1. Biorremediación

Los moluscos bivalvos desempeñan un papel fundamental en la biorremediación acuática al ser organismos filtradores, permitiéndoles absorber y acumular los contaminantes del agua por medio de sus branquias para posteriormente ser biotransformados en sustancias menos tóxicas con mayor facilidad de degradación, como se muestra en la Figura 2, así mismo, los bivalvos pueden incorporar ciertos contaminantes en sus tejidos o conchas, llevando a cabo la biomineralización (Cavada, González, Alanís, & Chávez, 2021).

Por ejemplo, el ostión del Pacífico se ha utilizado en las regiones costeras de Chile para la biorremediación de aguas contaminadas con metales pesados, debido a su capacidad de bioacumular estos elementos en sus conchas (Rodríguez, y otros, 2016).

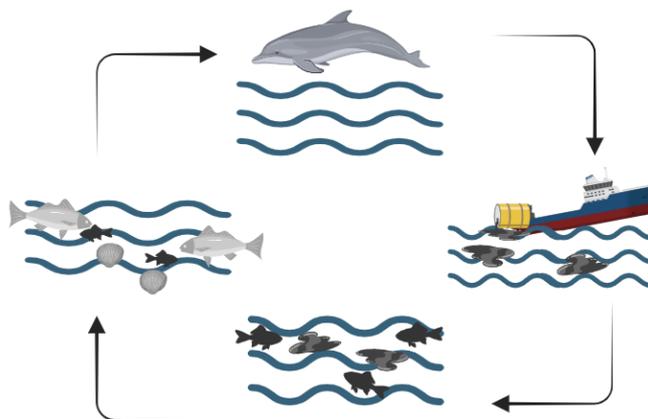


Figura 2. Biorremediación en la cadena trófica.

Adaptado de: (Cavada, González, Alanís, & Chávez, 2021).

Fuente: Elaboración propia, 2025.

2.3.2. Biotransformación

Según Gordillo en el 2021, es un proceso en el cual los organismos vivos pueden alterar la estructura química de las sustancias ya que son capaces de transformar compuestos químicos, de origen sintético o natural, en otros elementos, y es un proceso fundamental dentro de la degradación de contaminantes, existen estudios en embalses argentinos han demostrado que el mejillón dorado tiene potencial para la biotransformación de metales pesados en nutrientes, mejorando la calidad del agua.

2.3.3. Biomineralización

Es una interrelación entre procesos biológicos y químicos por el cual los organismos vivos tienen la capacidad de producir minerales a partir de compuestos que se acumulan en sus tejidos endurecidos, los biominerales contienen un 10% de materia orgánica, lo que se atribuye a su presencia en los ecosistemas biológicos (Cavada, González, Alanís, & Chávez, 2021).

Producto de la capacidad de biodegradación de compuestos orgánicos, en el noreste de Brasil se ha utilizado la almeja amarilla para la biorremediación y biomineralización de sedimentos contaminados con hidrocarburos (Anaisce, 2024).

2.4. Bioindicadores

Según Carrasco y Webster en el 2016, se conoce como bioindicador, a un organismo empleado para medir una alteración en la calidad del entorno a causa de un estrés natural o de origen humano, el objeto biológico estudiado también sufre alteraciones en su condición natural, las cuales pueden ser identificadas para establecer la condición de salud del entorno.

Para su uso como bioindicador, un organismo debe satisfacer ciertos requisitos; por lo general, el organismo aspirante debe estar adecuadamente distribuido y de fácil accesibilidad, poseer cierta importancia ecológica y social, ser de gran tamaño, longevo, además de tener la habilidad de acumular y concentrar cantidades detectables de contaminantes sin fallecer, esto se refiere a la bioacumulación en el cuerpo de contaminantes en un nivel que sobrepasa considerablemente la concentración ambiental (Carrasco & Webster, 2016).

Considerando que los bioindicadores tienen la capacidad de acumular metales pesados en sus tejidos, es posible evaluar el grado de contaminación de un ecosistema, por ejemplo, *Mytella guyanensis* es utilizado para monitorear metales pesados presentes en zonas costeras de Ecuador, como el Golfo de Guayaquil (Acosta, Alfonso, & Dennise, 2021).

2.4.1. Metales Pesados

De acuerdo con la tabla periódica, los metales pesados son compuestos químicos de gran densidad (superior a 4 g/cm³), con un peso atómico superior a 20 y son tóxicos en niveles bajos, algunas de estas sustancias incluyen: Aluminio (Al), bario (Ba), berilio (Be), cobalto (Co), cobre (Cu), estaño (Sn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cromo (Cr), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plata (Ag), selenio (Se), talio (Tl), vanadio (Va), oro (Au) (Del Cisne & Lucin, 2015).

2.4.2 Clasificación de metales pesados

Los metales pesados se dividen en dos categorías principales: esenciales y no esenciales, como se puede observar en la tabla 2, los metales esenciales son aquellos que son necesarios en pequeñas cantidades para el funcionamiento adecuado de procesos biológicos (Corrales, 2015). Entre ellos se encuentran el zinc (Zn), el cobre (Cu) y el hierro (Fe), los cuales participan en funciones clave como la formación de enzimas, la producción de energía celular y el transporte de oxígeno, sin embargo, cuando estos metales se acumulan en niveles elevados, pueden volverse tóxicos y alterar el equilibrio biológico, por otro lado, los metales no esenciales, como el mercurio (Hg), el plomo (Pb) y el cadmio (Cd), no tienen ninguna función biológica conocida en los organismos vivos, ya que su presencia en el cuerpo, incluso en pequeñas cantidades puede ser altamente tóxico (Lodoño, Lodoño, & Muñoz, 2016).

Estos metales no esenciales tienden a acumularse en los tejidos biológicos y son peligrosos debido a su capacidad para causar daños a largo plazo en los sistemas nervioso, renal, óseo, entre otros, la toxicidad de los metales no esenciales es un desafío ambiental importante, ya que pueden afectar tanto la salud humana como la de los ecosistemas naturales (Gelaye, 2024).

Tabla 2.

Clasificación de metales pesados en esenciales y no esenciales

Clasificación de metales pesados	
Esenciales	As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn, Ni
No esenciales	Be, Cd, Hg, Pb, (Sn), Ti

Fuente: (Corrales, 2015)

2.5. Riesgos en la Salud Humana

2.5.1. Toxicocinética

Se describe como el movimiento de los metales pesados a través del organismo, desde la exposición al contaminante hasta que sea desechado e involucra 4 etapas: absorción por vía digestiva, dérmica o respiratoria, distribución mediante el torrente sanguíneo que alcanza a diferentes órganos y tejidos según su capacidad para atravesar membranas celulares, biotransformación, excreción por heces y orina, convirtiéndolo en un factor fundamental en la determinación de la toxicidad de un metal pesado y la evaluación del riesgo de daño (Martínez, 2024).

2.5.2. Órganos Afectados y Enfermedades

Los metales pesados poseen una alta afinidad por ciertos tejidos y órganos, especialmente el sistema nervioso central, sistema cardiovascular, hígado y riñones, estos contaminantes interfieren en procesos biológicos, lo que trae consecuencias a nivel celular, donde exposición prolongada a metales pesados puede desencadenar una serie de enfermedades crónicas reportadas en los seres humanos, tales como: renales, neurológicas, hepáticas, enfermedades cardiovasculares y cáncer, por ejemplo, el plomo puede afectar el desarrollo cerebral de niños, así como el mercurio que puede causar temblores, trastorno del habla y pérdida de memoria (Martínez, 2024).

2.6. Impacto Ambiental

2.6.1. Bioacumulación

Se conoce como bioacumulación al incremento en la concentración de un compuesto exógeno en los tejidos de seres vivos más elevado que en el ambiente alrededor, la bioacumulación de sustancias químicas dañinas (como el plomo y el DDT) puede conducir a

trastornos inducidos químicamente, esto se considera una problemática ambiental grave puesto que, reduce la biodiversidad al contaminar la cadena alimentaria, afectando a seres humanos por medio del consumo de productos contaminados (Alves & Jadan, 2021).

2.6.2. *Biomagnificación*

Se conoce como biomagnificación al aumento en la concentración de un contaminante a medida que se asciende en la cadena trófica, se genera cuando un organismo consume a otro de un nivel trófico inferior ingiriendo sus contaminantes, lo que puede traer efectos adversos en los carnívoros superiores, como la muerte, este es un fenómeno alarmante para los organismos ubicados en la cima de la cadena trófica, puesto que pueden sufrir daños por la alta concentración de contaminantes en sus tejidos, representando una amenaza en la salud de los ecosistemas (Puente, Quintana, & González, 2021). Las diferencias entre bioacumulación y biomagnificación se presentan en la Figura 3.

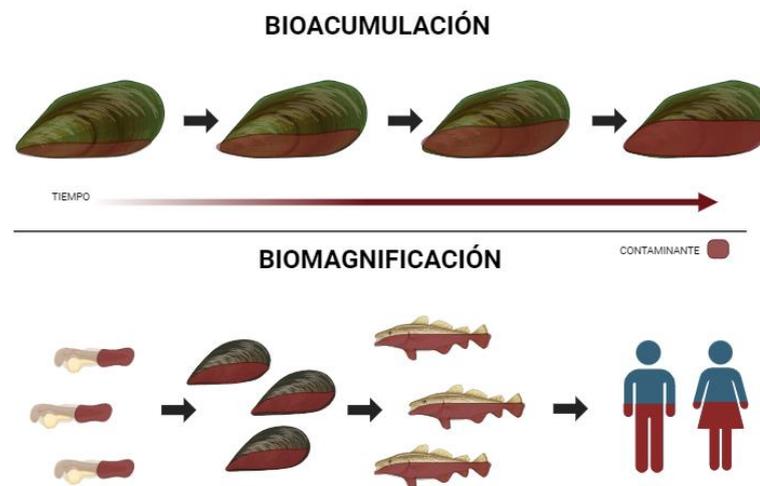


Figura 3. Diferencias entre bioacumulación y biomagnificación.

Adaptado de: (Puente, Quintana, & González, 2021).

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Capítulo 3

Materiales y Métodos

La presente investigación fue desarrollada bajo los fundamentos del framework SALSA, que según Grant y Booth en el 2009, es un marco de trabajo para realizar revisiones sistemáticas y consta de cuatro fases: Búsqueda (SEARCH), Evaluación (APPRAISAL), Síntesis (SYNTHESIS), Análisis (ANALYSIS), el cual, al ser un enfoque de gran estructura, permitió llevar a cabo la investigación de forma organizada con gran hincapié en la rigurosidad de esta, detallada en el Anexo 5. La metodología empleada para el trabajo de investigación se ilustra en la Figura 4.

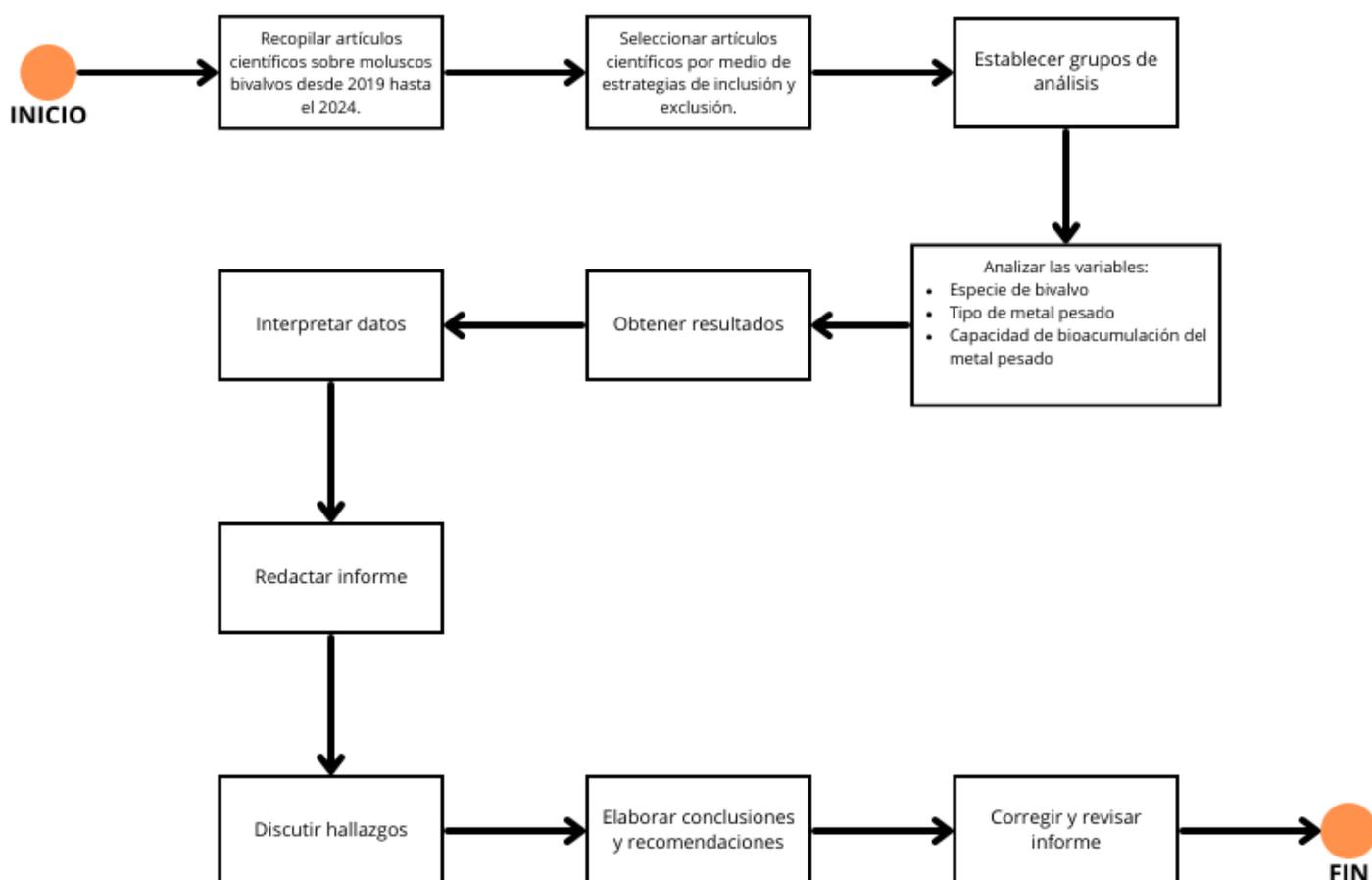


Figura 4. Esquema de metodología general.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

3.1. Fase de Búsqueda (SEARCH)

3.1.1. *Objetivo de la búsqueda*

Se realizó una búsqueda exhaustiva sobre la información en 2 bases de datos científicas, para la obtención de estudios relacionados con la temática estudiada. De esta manera, fue posible identificar literatura sobre el uso de moluscos bivalvos como bioindicadores de metales pesados.

3.1.2. *Bases de datos*

Para la presente investigación se seleccionaron las siguientes bases de datos:

- ***Scopus***

Considerada una de las bases de datos más completas que permite acceder a investigaciones, artículos científicos, estudios y trabajos por medio de su motor de búsqueda especializado que cubre una amplia gama de disciplinas, como la ciencia y tecnología.

- ***Science Direct***

Es una base de datos especializada en contenido técnico, científico y médico, al que se puede acceder como una biblioteca digital donde se pueden encontrar artículos científicos, capítulos de libros electrónicos y enciclopedias.

3.1.3. *Estrategias de búsqueda*

Fueron implementadas palabras clave en combinación con operadores booleanos (AND, OR, NOT) para la obtención de estudios relacionados a la investigación. Entre las combinaciones usadas se encuentran:

- “moluscos bivalvos” AND “metales pesados”.
- “heavy metals” AND “*Mytella*”.

- “bivalves” OR “clams” AND “marine pollution”.
- “*Anadara*” AND “bioindicators”.
- “Ecuador” AND “heavy metals”

3.1.4. Herramientas de complemento

Con el del software Mendeley fue posible la gestión de las referencias seleccionadas y así asegurar la calidad de la recopilación de datos. Adicional, se utilizó el software VOSviewer para la construcción de redes bibliométricas en base a la relación que tenga la literatura investigada.

3.2. Fase de Evaluación (APPRAISAL)

3.2.1. Selección inicial

Se evaluaron los estudios recopilados durante la primera fase (búsqueda) por medio de la lectura de títulos y resúmenes, así se pudo eliminar aquellos trabajos que no coincidían con el objetivo de la presente investigación y que cumplieran con los siguientes criterios:

a. Criterios de inclusión

Fueron considerados los siguientes criterios:

- Publicados entre 2019 y 2024.
- Que contengan al menos uno de los metales pesados: plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg), cobre (Cu).
- Estudios que incluyan las especies *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis*.

b. Criterios de exclusión

Para el presente estudio, no fueron incluidas investigaciones:

- Que no hayan sido revisados por pares.
- Que utilicen otros bioacumuladores de metales pesados que no sean moluscos bivalvos.
- Donde se evalúan contaminantes que no sean metales pesados.

3.3. Fase de Síntesis (SYNTHESIS)

3.3.1. Agrupación de datos

Los estudios que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión fueron agrupados según sus temáticas principales tales como: acumulación de metales pesados en bivalvos y su relación con la contaminación costera, así como estudios comparativos entre diversas especies de bivalvos que actúan como bioindicadores. Esto fue realizado con la finalidad de identificar patrones dentro de la investigación.

3.3.2. Categorías temáticas

El establecimiento de categorías fue fundamental para un análisis cualitativo, organizando las investigaciones seleccionadas según:

- Especies estudiadas.
- Geografía.
- Tipo de metal pesado.
- Capacidad de bioacumulación en tejidos.
- Tejido del bivalvo donde se acumulan los metales pesados.
- Mecanismos genéticos y fisiológicos de bioacumulación.
- Límites permitidos del metal pesado en los ecosistemas marinos.

3.4. Fase de Análisis (ANALYSIS)

3.4.1. Interpretación de resultados

Con los resultados, fue posible responder a las siguientes preguntas de investigación previamente establecidas:

¿Cuáles metales pesados son mayormente acumulados en el tejido blando de las especies *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis* localizadas en Guayas, Ecuador?

¿Los niveles de metales pesados constituyen un riesgo a los ecosistemas marinos y la salud humana?

¿Qué características fisiológicas y genéticas influyen en la bioacumulación de metales pesados en moluscos bivalvos?

Dentro de este estudio, las preguntas de investigación fueron indispensables para la interpretación de resultados considerando los metales pesados más comunes que han sido detectados en moluscos bivalvos, tales como *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis*.

Capítulo 4

Resultados y Discusión

4.1. Análisis Bibliométrico

Gracias al análisis bibliométrico realizado mediante el software VOSviewer mostrado en el Anexo 6, logramos seleccionar artículos con mayor relación a nuestra investigación. De acuerdo a la Figura 5, por medio del uso de palabras clave se encontraron 490 artículos en la base de datos Scopus y Science Direct, mediante el uso de los criterios de inclusión y exclusión estipulados, la búsqueda fue segmentada a 37 artículos, los cuales se leyeron en su totalidad, resultando 9 documentos los cuales cumplieron con todos los parámetros y respondieron las preguntas de investigación establecidas como se evidencia en la Tabla 3.

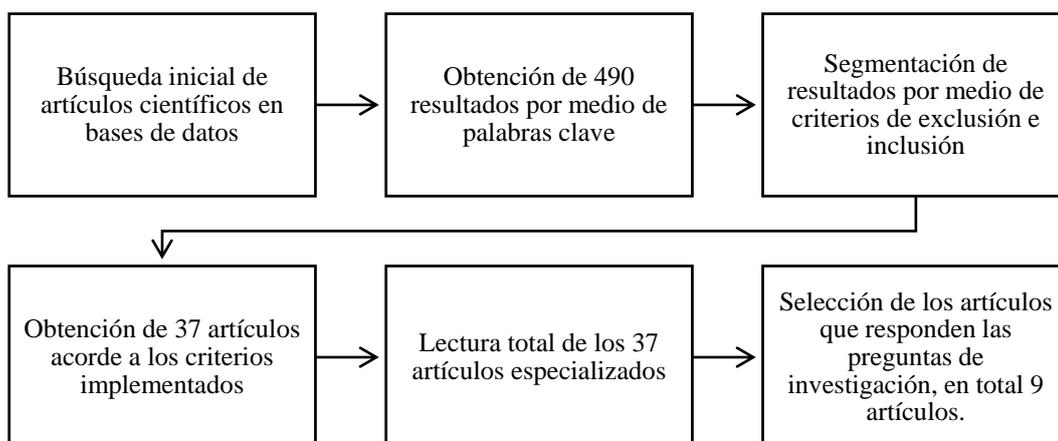


Figura 5. Esquema de selección de artículos científicos.

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Tabla 3.

Artículos seleccionados que responden a las preguntas de investigación.

Artículo	Autor	P1	P2	P3
1	(Cai, y otros, 2025).	N/A	N/A	Reporta que tanto las branquias como el hepatopáncreas son factores determinantes para la bioacumulación en moluscos bivalvos.
2	(Alvarado, 2021)	N/A	Reporta que las zonas muestreadas no presentan riesgo de contaminación por metales pesados.	N/A
3	(Mero, y otros, 2019)	N/A	Indica que un 88% de los sectores muestreados presentan contaminación por cadmio (Cd).	N/A
4	(Forero, Baren, Grandá, Cevallos, & Jarrín, 2019)	Reporta la acumulación de plomo (Pb) y (Hg) principalmente en el tejido de <i>Anadara tuberculosa</i> .	Se reporta niveles de contaminación por metales pesados en sedimento.	N/A
5	(Quesada, 2021).	Se reporta que el plomo (Pb) es uno de los metales pesados más persistentes y con mayor bioacumulación en estas especies.	Presenta altos valores de contaminación superando los límites permitidos.	N/A
6	(Wan & Lee, 2024).	N/A	N/A	Reporta que las MTs son proteínas activadas mediante la interacción con metales y tienen la capacidad de unirse a iones metálicos.
7	(García & Rivadeneira, 2022).	N/A	N/A	Reporta bioacumulación de metales pesados en diferentes órganos como el hepatopáncreas de los moluscos bivalvos.
8	(Bain, Zariff, & Pahl, 2024)	N/A	N/A	Reporta bioacumulación de metales pesados en las branquias argumentando que es debido a su naturaleza filtradora.
9	(Cedeño, Pacheco, & Ballesteros, 2024).	N/A	Se reportan preocupantes concentraciones de cadmio que superan por mucho el límite permitido.	N/A

Nota: P1: ¿Cuáles metales pesados se acumulan en mayor porcentaje en el tejido blando de las especies *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis* localizadas en Guayas, Ecuador?

P2: ¿Los niveles de metales pesados constituyen un riesgo a los ecosistemas marinos y la salud humana?

P3: ¿Qué características fisiológicas y genéticas influyen en la bioacumulación de metales pesados en moluscos bivalvos?

4.2. Contaminación de ecosistemas acuáticos por metales pesados dentro de la provincia de Guayas-Ecuador

En base a los estudios más recientes realizados en la provincia de Guayas-Ecuador, se llevó a cabo la medición y comparación de las concentraciones de metales pesados, específicamente cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), en relación con los límites máximos establecidos por normativas nacionales e internacionales como se muestra en la Tabla 4 (Ministerio del Ambiente, 2015).

Las zonas seleccionadas para el muestreo incluyen Estero Caleta, Estero La Zanja, Estero Lagarto, Isla Josefina y Santa Rosa, permitiendo una evaluación representativa de la calidad ambiental en estos cuerpos de agua, los resultados obtenidos indican que las concentraciones de los metales analizados se encuentran dentro de los rangos establecidos por la legislación vigente, lo que sugiere que, en las áreas evaluadas, la presencia de estos contaminantes no representa un riesgo ambiental significativo según los estándares actuales (Alvarado, 2021).

Paralelamente, en estudios realizado dentro de la provincia del Guayas en los sectores Babahoyo, Ferrocarril, Barrio Lindo, Daule arrocera, Guajala, Instituto Nacional de Pesca, Malecón Daule, Mucholote, Santay Puente Duran, Santay Puente Guayaquil y Varadero, el 88% de los sectores muestreados presentaron niveles de cadmio (Cd) en sedimentos por encima del límite permitido tanto de la norma Nacional como la canadiense, el sector que destaca en esta lista es Mucholote presentando 2.5 mg/kg de cadmio en sedimentos superando el límite permitido nacional por 2 puntos y al límite canadiense por 1.8 puntos (Mero, y otros, 2019).

Tabla 4.

Límite máximo establecido por las normas nacionales y normas canadienses de cadmio, plomo y mercurio.

Límite Máximo permisible		
Metal Pesado	Norma nacional	Norma canadiense (ISQG)
	(Acuerdo Ministerial 097-A. NC)	
Cadmio (Cd)	0,5 mg/kg	0,7 mg/kg
Mercurio (Hg)	0,1 mg/kg	0.18 mg/kg
Plomo (Pb)	19 mg/kg	30.2 mg/kg

Fuente: (Lodoño, Lodoño, & Muñoz, 2016)

Por otro lado, se encontraron estudios de contaminación por metales pesados en el golfo de guayaquil donde se estudiaron sectores como Salado, Puna y Jambeli, los resultados indican alerta de contaminación por metales pesados, principalmente mercurio (Hg) y plomo (Pb) presentes en el tejido de *Anadara tuberculosa*, los autores indican que, en las muestras extraídas de sedimentos, sobre todo en el sector Jambeli, existen valores que superan por mucho el nivel permitido, además, los análisis realizados en la especie de mejillón *Mytella guyanensis* muestran niveles de contaminación inferiores a los rangos establecidos (Forero, Baren, Granda, Cevallos, & Jarrín, 2019). En otro estudio realizado las localidades de Puerto El Morro, Mercado Municipal de Playas y Mercado de Mariscos La Libertad se analizaron 33 muestras del tejido de *Anadara tuberculosa*, el análisis reportó que el 93.9% de las muestras superaron el límite permitido de cadmio (Cd), mientras que en el análisis de plomo (Pb) solo el 3% superó el límite permitido (Cedeño, Pacheco, & Ballesteros, 2024).

De la misma manera, otros estudios de contaminación por metales pesados en zonas del Estero Salado, específicamente en los sectores de Puente Ecológico y Puente Zig-Zag, reporta que desde el año 2019 a 2021 hubo un incremento en la concentración de plomo, siendo este contaminante uno de los más persistentes teniendo gran presencia en sedimentos, presentando valores de hasta 54,86 mg/kg en el sector de Puente Ecológico, sobrepasando por 35 puntos a las normativas nacionales y por 19 puntos a las internacionales (Quesada, 2021).

La presencia de altos niveles de contaminación, sobre todo de plomo áreas urbanas frente a la contaminación en sectores rurales puede deberse a factores antropológicos, la influencia de la actividad humana y las fuentes de contaminación como residuos, representa un riesgo significativo tanto para los ecosistemas acuáticos como la salud, ya que estos metales pesados son altamente tóxicos y se acumulan en organismos acuáticos como bivalvos, afectando su fisiología, generando efectos adversos a largo plazo en la cadena trófica (Muyulema, Canga, Pucha, & Espinoza, 2021).

4.3. Mecanismos que facilitan el proceso de bioacumulación de metales pesados

4.3.1. Mecanismos genéticos

- ***Metalotioneínas***

La síntesis de metalotioneínas (MTs) -proteínas caracterizadas por su capacidad para unirse a iones metálicos y por tener capacidad detoxificadora- es inducida en los bivalvos debido a la exposición a metales pesados, gracias a la presencia de estas metalotioneínas, los moluscos bivalvos pueden regular la bioacumulación con relación al nivel de contaminación del entorno circundante, el autor también destaca que la expresión de esta proteína es regulada por genes determinados que son activados al detectar la presencia de metales pesados en el ecosistema (Wan & Lee, 2024).

(Lemus, Salazar, Lapo, & Chung, 2016) reportan en la Figura 6 que los estudios toxicológicos con bivalvos bajo ambientes confinados, con parámetros fisicoquímicos muy bien controlados y la implementación de concentraciones de metales muy variadas que van desde valores realistas identificados en determinados ecosistemas hasta concentraciones muy tóxicas e incompatibles con la vida, han sustentado el uso de las MTs como biomarcadores de contaminación por metales, particularmente Cd, Cu y Hg.

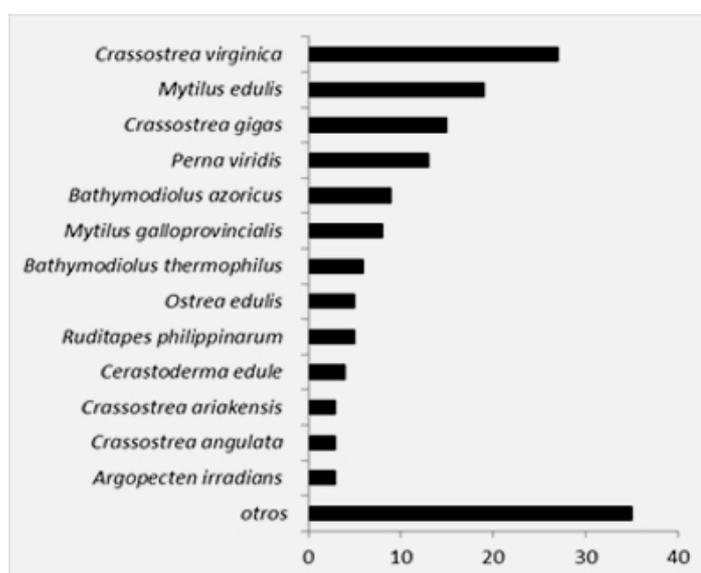


Figura 6. Número de trabajos que evalúan la estructura primaria de metalotioneínas en bivalvos.

Fuente: (Lemus, Salazar, Lapo, & Chung, 2016).

Los resultados obtenidos destacan la importancia de las metalotioneínas como mecanismos genéticos intrínsecos en los moluscos bivalvos, desempeñando un papel fundamental en la regulación y detoxificación de los metales pesado (Lemus, Salazar, Lapo, & Chung, 2016). La sinergia entre las metalotioneínas, que actúan a nivel molecular para secuestrar metales, y los órganos especializados como el hepatopáncreas y las branquias, que facilitan la absorción, almacenamiento y metabolismo de estos compuestos, permite a estos

organismos enfrentar la contaminación en su hábitat, la comprensión de estos mecanismos complementarios resulta fundamental para evaluar el potencial de los moluscos bivalvos como bioindicadores eficaces de contaminación por metales pesados y para el desarrollo de estrategias de monitoreo ambiental basadas en su capacidad de bioacumulación (Trombini, Fabbri, & Blasco, 2010).

4.3.2. *Mecanismos fisiológicos*

- ***Hepatopáncreas***

Es un órgano esencial para el desarrollo de la vida de los moluscos bivalvos, en este se desarrolla la biotransformación de plomo (Pb) y cadmio (Cd), por otro lado, en un estudio de moluscos pertenecientes a la familia *Veneridae* se reportó que la acumulación de metales pesados en ese órgano se produce debido a su función de metabolizar toxinas y acumular contaminantes, los metales son capturados por proteínas específicas presentes en el hepatopáncreas, de esta manera, este mecanismo evita que se produzca un daño directo a la integridad del organismo (García & Rivadeneira, 2022).

- ***Branquias***

Las branquias están encargadas de la respiración y filtración de partículas, su función las relaciona con la acumulación de contaminantes como metales pesados debido a que ciertas partículas de metales pesados capturados son depositadas en las células branquiales (Bain, Zariff, & Pahl, 2024). En estudios de moluscos bivalvos pertenecientes a la familia *Mytilidae* se hay identificado la acumulación de metales pesados como plomo (Pb) y mercurio (Hg), esto indica que debido a su función natural y la gran superficie de contacto que posee con el medio, son órganos que están altamente expuestos a contaminación (Acosta & Lodeiros, 2004).

Las investigaciones indican que ambos órganos son protagonistas en el metabolismo de los moluscos bivalvos por lo tanto podríamos decir que la acumulación de estos metales es inherente en ellos, esto convierte a los moluscos bivalvos en potenciales bioindicadores de contaminación, sin embargo, la acumulación de estos contaminantes también afecta la salud de estos organismos, lo que a largo plazo puede inferir disminuyendo la abundancia o el comportamiento de los moluscos bivalvos presentes en ecosistemas contaminados con metales pesados (Cai, y otros, 2025).

En cuanto al potencial bioindicador de la especie *Anadara tuberculosa*, los resultados respaldan su idoneidad para la evaluación de la contaminación por metales pesados, como se ha reportado en diversos estudios (William, 2014). Su amplia distribución en ambientes costeros de alta salinidad, su relevancia económica y alimenticia la convierten en una especie de interés para programas de monitoreo ambiental (Mora & Moreno, 2006). En contraste, la especie *Mytella guyanensis* ha sido menos estudiada en este contexto, lo cual podría atribuirse a su distribución geográfica más restringida y a su menor importancia comercial, sin embargo, su presencia en ecosistemas estuarinos sugiere que podría desempeñar un papel relevante en la evaluación de la contaminación, lo que resalta la necesidad de futuras investigaciones para comprender mejor su potencial bioindicador y su capacidad de bioacumular metales pesados (Carrasco & Webster, 2016).

Conclusiones

La capacidad de *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis* como bioindicadores de metales pesados en ecosistemas marinos ubicados en la provincia de Guayas, Ecuador es alta, ya que, representan ser esenciales en el proceso de bioacumulación de metales pesados, reflejando de manera proporcional la contaminación del medio que habitan.

Por medio de la recopilación de información se evidenció que *Anadara tuberculosa* y *Mytella guyanensis* así como otras especies de moluscos bivalvos regulan la atracción de iones metálicos en tejidos como el hepatopáncreas y las branquias, principalmente mediante la síntesis de metalotioneínas, esto es un rasgo evidente de su alto potencial como bioindicadores.

Los niveles de contaminación por metales pesados en ecosistemas acuáticos de la provincia de Guayas varían según la ubicación, sin embargo, más del 70% de sectores muestreados presentaron índices de acumulación de metales pesados como cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), superando el límite permitido por la norma nacional que es de 0,5 mg/kg, 0,1 mg/kg y 19 mg/kg respectivamente.

Por último, los resultados del análisis bibliométrico mostraron la correlación de la información investigada con artículos sobre la incidencia de los metales pesados en moluscos bivalvos, gracias a la metodología establecida logramos obtener los artículos idóneos para responder las preguntas de investigación.

Recomendaciones

Explorar más especies de moluscos bivalvos, incluyendo aquellas menos estudiadas y las endémicas de cierta región con la finalidad de comparar la bioacumulación de metales pesados con la variabilidad de especies, así como integrar factores abióticos en la investigación, de esta forma se puede evaluar la interacción entre los contaminantes con las condiciones ambientales con potencial de modificar la biodisponibilidad.

Priorizar las zonas que representen un mayor riesgo para la salud como ecosistemas acuáticos aledaños a comunidades vulnerables, también los sectores que presenten mayor nivel de contaminación como zonas en las que se depositan residuos, vertederos industriales o zonas con alta presencia de residuo agrícola, de esta manera, se pueden aprovechar mucho más la ayuda de los moluscos bivalvos como bioindicadores de contaminación.

Tomar medidas contra el aumento de la contaminación como proyectos de biorremediación especializados contra metales pesados en ecosistemas acuáticos, si en el presente no es un problema grave, en un futuro puede serlo si no se consideran los riesgos.

Bibliografía

- Acosta, D., Alfonso, & Dennise. (2021). EVALUAR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN SEDIMENTO EN EL SECTOR NORTE DEL ESTERO SALADO DE GUAYAQUIL. *Repositorio UG*.
- Acosta, V., & Lodeiros, C. (2004). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. *Ciencias Marinas*, 30(2), 323-333. Recuperado el 20 de Diciembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802004000300005&lng=es&tlng=es.
- Aguirre, V. (2022). Invasión de mejillones dorados introducidos por aguas de lastre. *Memoria Académica FaHCE-UNLP*. Obtenido de <https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/library?a=d&c=eventos&d=Jev15062>
- Alvarado, A. (2021). *DETECCIÓN DE METALES PESADOS CADMIO, PLOMO Y MERCURIO EN SEDIMENTO DE LOS MANGLARES DE PUERTO ROMA Y SANTA ROSA EN EL GOLFO DE GUAYAQUIL*. Guayaquil: Repositorio UG. Obtenido de <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/98cdb8b2-3f86-484a-b758-eb1646ae45b/content>
- Alves, R., & Jadan, C. (2021). Cadmium pollution of water, soil, and food: a review of the current conditions and future research considerations in Latin America. *Canadian Science Publishing*, 30(1). doi:<https://doi.org/10.1139/er-2021-0051>
- Anaisce, R. (2024). Synergy between Seasonality and Climatic Anomaly and their Effects on the Growth of Oysters Cultivated in the Amazon Coast. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2024230118>
- Arévalo, D., Alfaro, C., & Hernández, H. (2016). MOLUSCOS DE AGUA DULCE COMO MONITORES DE CONTAMINACIÓN DE ELEMENTOS TÓXICOS EN RÍOS. 51° *Congreso Mexicano de Química*. México: Sociedad Química de México.
- Bain, P. G., Zariff, R. B., & Pahl, L. L. (2024). Concentraciones de metales en peces, cangrejos y moluscos bivalvos de aguas marinas adyacentes a una fundición y refinería de múltiples metales. *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.ecups.idm.oclc.org/science/article/pii/S0025326X24007604>

- Baqueiro, E., Borabe, L., Goldaracena, C., & Rodríguez, J. (2007). Los moluscos y la contaminación: Una revisión. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1-7. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532007000300001&lng=es&tlng=es.
- Becerra, E., Nodarse, M., Castellanos, L., & Perez, C. (2022). Manejo agroecológico participativo de moluscos plagas en organopónicos fortalecida desde una perspectiva de ciencia, tecnología y sociedad. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(4), 324-330.
- Brito, M., & Mora, E. (2016). *CATÁLOGO DE MOLUSCOS MARINOS DISTRIBUIDOS EN LA PRIMERA MILLA DE LA COSTA ECUATORIANA*. Guayaquil: Instituto Nacional de Pesca.
- Cai, B., Gandon, L., Baratange, C., Eleyele, O., Moncrieffe, R., Montiel, G., . . . Zalouk, A. (2025). Assessment of the effects of cadmium, samarium and gadolinium on the blue mussel (*Mytilus edulis*): A biochemical, transcriptomic and metabolomic approach. *Aquatic Toxicology*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2024.107217>
- Calderón, M., Carpio, N., & Galarza, W. (2024). Heavy metals Cd, Pb and Hg: A public health problem in the context of international relations and the importance of academia in its mitigation. *MQRI*. Obtenido de <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/download/579/2324/2773>
- Calero, V. (2023). Paper review: contaminación de metales pesados en el Ecuador, un análisis químico, ambiental, toxicológico, normativo y analítico. *Repositorio UPS*. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26409>
- Carrasco, R., & Webster, R. (2016). Capacidad bioacumuladora de metales pesados en moluscos bivalvos de los esteros del cantón Balao. *Dspace*. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6480/1/12619.pdf>
- Castillo, I., Acosta, V., Martínez, G., & Núñez, M. (2005). Castillo, I., Acosta, V., Niveles de metales pesados en gónadas y músculo aductor del mejillón marrón, *Perna perna*, cultivado en la ensenada de Turpialito, Golfo de Cariaco, estado Sucre, Venezuela. Obtenido de https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0798-72692005000200004&script=sci_arttext&utm
- Castro, N., Sánchez, F., Moreno, R. T., & Reyes, E. (2019). HEAVY METALS POLLUTION LEVEL IN WASTEWATER AND SOILS IN THE ALTO BALSAS SUB-BASIN IN

- TLAXCALA AND PUEBLA, MEXICO. *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/370/37062293015/html/>
- Cavada, K., González, C., Alanís, E., & Chávez, A. (2021). Biorremediación de metales pesados en México: técnicas y tendencias de uso para aplicación en actividades mineras. *ECUBA*, 9(17), 06-17. doi:10.32870
- Cedeño, K., Pacheco, A., & Ballesteros, J. (2024). Cuantificación del contenido de metales pesados en *Anadara tuberculosa* del Golfo de Guayaquil mediante ICP-OES: evaluación de la contaminación marina. *Repositorio UPS*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/app14051704>
- Cesari, P., & Pellizzato, M. (1990). Biology of Tapes Philippinarum. En P. Cesari, & M. Pellizzato, *Tapes Philippinarum: Biologia e Sperimentazione*. (págs. 21-46). Venecia: Ente di Sviluppo Agricolo.
- Corrales, M. (2015). Acumulación de metales pesados en bivalvos y sus efectos tóxicos en la salud humana: Perspectivas para el estudio en Costa Rica. *Dialnet*, 173-181.
- Del Cisne, M., & Lucin, O. (2015). Bioacumulación de metales pesados (Pb, Hg,Cd) en el Bivalvo anaciara tuberculosa en cuatro localidades (bajo alto, estero Huayla , Puerto Hualtaco y Archipiélago de Jambelí) de la región costera de la provincia de El Oro. *Repositorio UTMachala*. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/2845>
- Del Cisne, O. (2015). Bioacumulación de metales pesados (Pb, Hg,Cd) en el Bivalvo anaciara tuberculosa en cuatro localidades (bajo alto, estero Huayla , Puerto Hualtaco y Archipiélago de Jambelí) de la región costera de la provincia de El Oro. 14-20.
- Dominguez, M., Aleman, R., Lango, F., & Castañeda, M. (2020). EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (CD, PB Y V) EN SEDIMENTOS ACUÁTICOS DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA PANTANOS DE CENTLA, TABASCO.
- Forero, G., Baren, L., Granda, L., Cevallos, J., & Jarrín, J. (2019). HEAVY METALS CONTAMINATION IN THE GULF OF GUAYAQUIL: EVEN LIMITED DATA REFLECTS ENVIRONMENTAL IMPACTS FROM ANTHROPOGENIC ACTIVITY. Obtenido de

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000300731

- García, M., & Rivadeneira, G. (2022). Bioacumulación y biomagnificación de metales pesados en peces, moluscos y crustáceos de mayor consumo en las costas de países sudamericanos. Revisión de literatura. *Repositorio Universidad de Cuenca*. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/e123e6ef-4842-443c-ba2e-d0f945498d0d>
- Gelaye, Y. (2024). Public health and economic burden of heavy metals in Ethiopia: Review. *Helyion*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024150530>
- Geng, N., Wang, C., Wang, P., Qi, N., & Ren, L. (2015). Cadmium Accumulation and Metallothionein Response in the Freshwater Bivalve *Corbicula fluminea* Under Hydrodynamic Conditions. *Biological Trace Element Research*, 222-232.
- Gomez, J., Leone, O., Villalaz, J., & Goti, I. (2023). METALES TRAZAS (CU, CD, PB) EN AGUA, SEDIMENTO Y TEJIDO BLANDO DE LEUKOMA ASPERIMMA (LAMELLIBRANCHIA: VENERIDAE), EN LA PLAYA BIQUE, PACIFICO DE PANAMÁ. *Tecnociencia*, 25(2). Obtenido de <https://portal.amelica.org/ameli/journal/224/2244302012/html/>
- Gordillo, S. (2021). Registros arqueomalacológicos en el centro de Argentina: el uso de *Megalobulimus* y otros moluscos en cuentas y adornos personales. *Intersecciones en antropología*, 22(1), 83-96.
- Grant, M., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*. Obtenido de <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Kim, S., & Venkatesan, J. (2015). Introduction to marine biotechnology. *Hb25_Springer Handbook of Marine Biotechnology*, 1-10.
- Kirchoff, K., Maxfield, T., Tropsha, A., & Gomez, S. (2024). SALSA: Semantically-Aware Latent Space Autoencoder. *Proceedings of the AAAI*, 38(12), 13211-13219. Obtenido de <https://doi.org/10.1609/aaai.v38i12.29221>
- Kong, C., Sharifinia, M., Hee, W., Abdo, S., Wei, K., & Awadh, K. (2021). A Commentary on the Use of Bivalve Mollusks in Monitoring Metal Pollution Levels. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. doi:<https://doi.org/10.3390/ijerph18073386>

- Kumar, S. (2022). Chapter 4 - Trace metal bioaccumulation. En *Sundarban Mangrove Wetland A Comprehensive Global Treatise* (págs. 317-342). Kolkata, India: University of Calcutta: Department of Marine Science.
- Lamarck, J. (1819). *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres* (Vol. 6). París: Jardin del Rey.
- Lango, F., Landeros, C., & Castañeda, M. (2010). BIOACCUMULATION OF CADMIUM (CD), LEAD (PB) AND ARSENIC (AS) IN *Crassostrea Virginica* (GMELIN, 1791), FROM TAMIAHUA LAGOON SYSTEM, VERACRUZ, MÉXICO. *Scielo*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v26n3/v26n3a3.pdf>
- Lemus, M., Salazar, R., Lapo, B., & Chung, K. (2016). Metallothioneins in marine bivalves. *Scielo*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-560X2016000200002&script=sci_arttext
- Lodoño, L., Lodoño, P., & Muñoz, F. (2016). LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000200017
- Lomovasky, B., Osiroff, A., Yusseppone, M., & Kahl, L. (2022). La acidificación de los océanos, el otro problema al aumento del CO₂: perspectivas para la comprensión de sus efectos sobre los ecosistemas marinos en Argentina. *Revista El Ojo del Condor*, 6-11.
- Lucero, C., Peña, E., Cantera, J., Vera, O., Cruz, Y., & Neira, R. (2023). Assessment of mercury and lead contamination using the bivalve *Anadara tuberculosa* (Arcidae) in an estuary of the Colombian Pacific. *Marine Pollution Bulletin*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114519>
- Martínez, L. (2024). Riesgos para la salud humana por arsénico y metales pesados en suelos/sedimentos costeros potencialmente contaminados. *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=335575>
- Mediodia, D., Salarda, S., & Añasco, N. (2017). Shell Morphology and Anatomy of the Philippine Charru Mussel *Mytella charruana*. *Asian Fisheries Science*, 30(3). Obtenido de <http://dx.doi.org/10.33997/j.afs.2017.30.3.004>

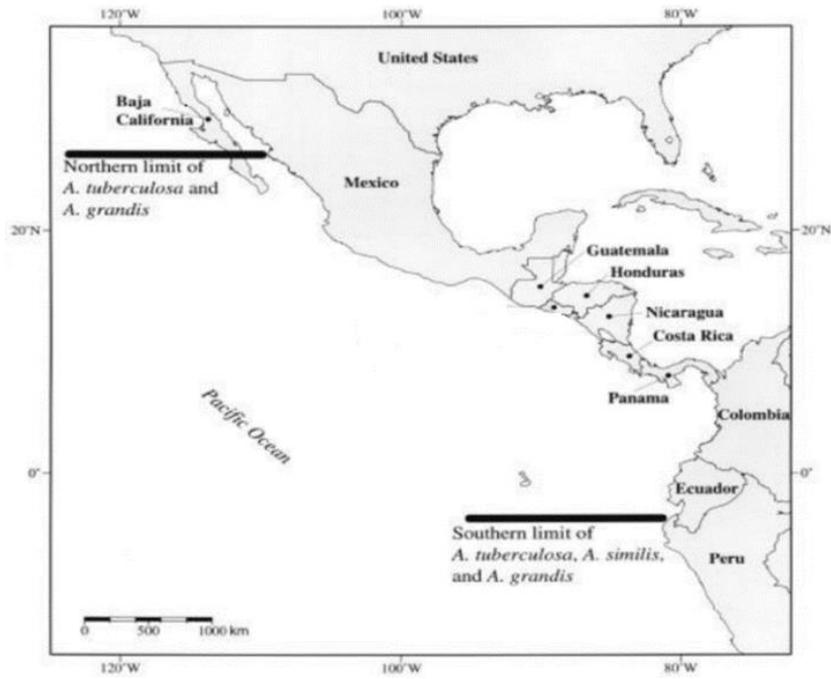
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larreta, E., & Egas, F. (2019). CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN AGUA, SEDIMENTOS, *Eichhornia crassipes* Y *Pomacea canaliculata* EN EL RÍO GUAYAS (ECUADOR) Y SUS AFLUENTES. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3), 623-640. doi:10.20937/RICA.2019.35.03.09
- Ministerio del Ambiente. (2015). Acuerdo Ministerial 97. *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2020). LÍNEA DE BASE NACIONAL para la Minería Artesanal y en Pequeña Escala de Oro en Ecuador, Conforme la Convención de Minamata sobre Mercurio. *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/NAP-Inventario-de-Mercurio-Ecuador.pdf>
- Mora, E. (1990). CATÁLOGO DE BIVALVOS MARINOS DEL ECUADOR. *Instituto de Pesca*, 10. Obtenido de <https://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/BCT.-VOL.-10-1.pdf>
- Mora, E., & Moreno, J. (2006). Mora E, & Moreno J. (2006). ABUNDANCIA y ESTRUCTURA POBLACIONAL DE *Anadara tuberculosa* y *Anadara similis* EN LAS PRINCIPALES ÁREAS DE EXTRACCIÓN DE LA COSTA ECUATORIANA. *Instituto Nacional de Pesca*. Obtenido de <https://institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2017/07/DOCUMENTO-ESTRUCTURA-Y-DENSIDAD-POBLACIONAL-DEL-RECURSO-CONCHA-2006.pdf>
- Muyulema, J., Canga, S., Pucha, P., & Espinoza, C. (2021). Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM)-Ecuador. *Scielo*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-97532019000600003
- Naciones Unidas. (2017). La biodiversidad y los ecosistemas marinos mantienen la salud del planeta y sostienen el bienestar social. *UN.org*. Obtenido de <https://www.un.org/es/chronicle/article/la-biodiversidad-y-los-ecosistemas-marinos-mantienen-la-salud-del-planeta-y-sostienen-el->

- Puente, G., Quintana, G., & González, J. (2021). Contaminación marina, un enfoque desde el contexto latinoamericano. *Revista Científica de Investigación Multidisciplinaria Arbitrada SCIENTIA*, 3(6), 15-22.
- Quesada, A. (2021). EVALUAR LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN SEDIMENTO EN EL SECTOR NORTE DEL ESTERO SALADO DE GUAYAQUIL, ENTRE ENERO - FEBRERO DEL 2021. *Instituto de Pesca*. Obtenido de https://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2022/01/34_TESIS-Plomo-en-sedimento-del-Estero-Salado..pdf
- Ramos, E. (2018). *Ficha Pesquera 001: Especie Capturada en Área de Manglar, Concha Prieta*. Guayaquil: INSTITUTO PÚBLICO DE INVESTIGACIÓN DE ACUICULTURA Y PESCA.
- Rodriguez, D. (2021). Metales Pesados y Salud. *InfoMED*. Obtenido de <https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/3702/>
- Rodriguez, G., Garcia, M., Domínguez, L., Valenzuela, T., Nava, E., & Góngora, A. (2016). Relación del crecimiento, condición y supervivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* y las variables ambientales, cultivado en suspensión en el sistema lagunar Navachiste-Macapule, Sinaloa, México. *Scielo*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-19572016000300006&script=sci_arttext&tlng=en
- Singh, P., & Gupta, S. (2021). MOLLUSCS AS BIOMONITORS OF HEAVY METAL POLLUTION: a REVIEW. *Sciensage*.
- Sowerby, G. (1833). *Characters of new species of shells from the collection formed by Mr. Cuming on the western coast of South America and among the islands of the South Pacific Ocean*. London: Proceedings of the Zoological Society of London. Obtenido de <https://www.biodiversitylibrary.org/page/12859474>
- Tejada, C., Villabona, A., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109-123.
- Trombini, C., Fabbri, E., & Blasco, J. (2010). Temporal variations in metallothionein concentration and subcellular distribution of metals in gills and digestive glands of the oyster *Crassostrea angulata*. *Scientia Marina*, 143-152. doi:10.3989/scimar.2010.74s1143

- Tsujimoto, M., Kajikawa, Y., Tomita, J., & Matsumoto, Y. (2018). A review of the ecosystem concept — Towards coherent ecosystem design. *Technological Forecasting and Social Change*, 49-58. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.06.032>
- Wan, Q., & Lee, J. (2024). Una metalotioneína de abulón de disco (*Haliotis discus discus*): información sobre sus funciones en la respuesta inmunitaria, la tolerancia a los metales y el estrés oxidativo. *ScienceDirect*. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.ecups.idm.oclc.org/science/article/pii/S1050464824002900>
- William, S. (2014). Determinación de metales pesados en moluscos bivalvos (*Anadara Tuberculosa* y *A. Similis*) del Estero Huaylá de Puerto Bolívar, por espectrofotometría de absorción atómica. *Repositorio Universidad de Machala*. Obtenido de <https://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/1421>

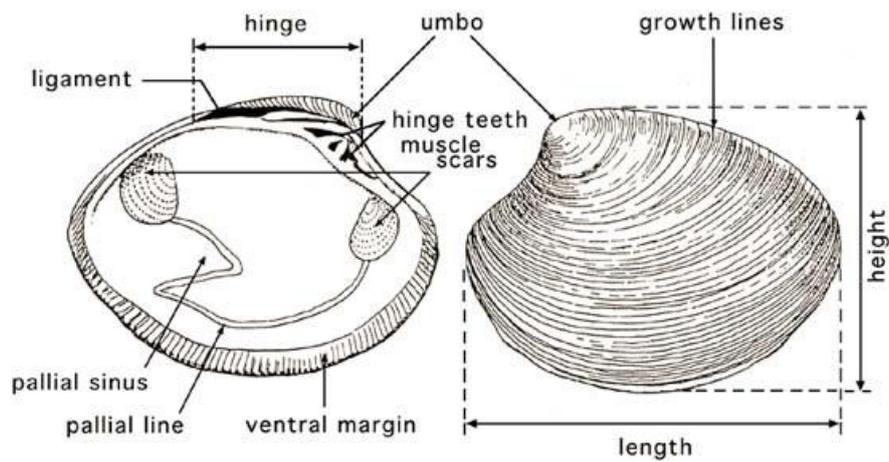
Anexos

Anexo 1. Distribución geográfica de *Anadara tuberculosa*



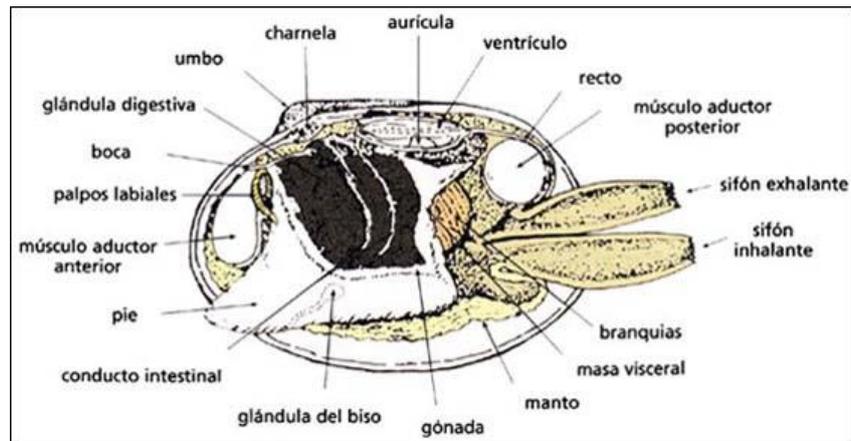
Fuente: (Ramos, 2018)

Anexo 2. Anatomía externa de los bivalvos



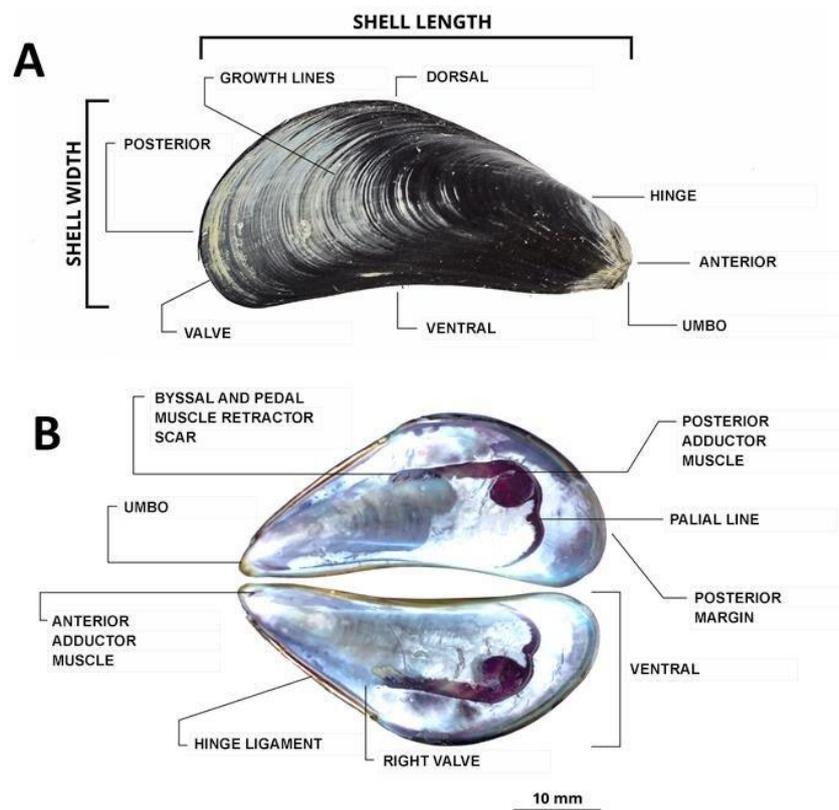
Fuente: (Cesari & Pellizzato, 1990)

Anexo 3. Anatomía interna de los bivalvos



Fuente: (Cesari & Pellizzato, 1990)

Anexo 4. Género *Mytella* (A) anatomía externa, (B) anatomía interna



Fuente: (Mediodia, Salarda, & Añasco, 2017)

