



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ**

CARRERA DE BIOLOGÍA MARINA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Análisis de la concentración de Plomo y Cadmio en
Anadara tuberculosa (Mollusca, Bivalvia) procedentes del
estuario del río Chone (San Vicente – Manabí)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN
MANEJO DE RECURSOS**

**PREVIO AL TÍTULO DE
BIÓLOGO MARINO**

**AUTOR
ÁNGEL DAVID VILLA CHÁLAN**

**TUTOR
KRUGER LOOR SANTANA., M. Sc.**

**MANTA – MANABÍ – ECUADOR
JULIO DE 2025**

Certificación

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

Kruger Ivan Loor Santana, *M. Sc.*

Director del trabajo de titulación

C. I.: 1304892001

Aprobación del tribunal

El jurado examinador, aprueba el presente manuscrito de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

Gabriel Modesto Durán Cobo, *M. Sc.*

Primer Lector

Juan Pablo Morales Corozo, *Ph. D.*

Segundo Lector

Ivan Kruger Loor, *M. Sc.*

Tercer lector

Manta, julio de 2025

Declaración de originalidad

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad de autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de este trabajo de integración curricular infringe los derechos de autor de nadie.

Ángel David Villa Chalán

CI: 2000107074

Teléfono: 099-663-3430

villachalan20@gmail.com

Declaración de derechos de autor y co-autoría

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de mis resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Ángel David Villa Chalán

CI: 2000107074

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por ser el pilar fundamental en cada etapa de mi vida. A mis padres Angel y Mercy, por su amor incondicional, sacrificio y enseñanzas, que han guiado mi camino con valores y esfuerzo. A mis hermanos Fernando y Maria, por su apoyo constante y por recordarme siempre que los sueños se alcanzan con perseverancia.

También dedico este logro a todos aquellos amigos que, de una u otra forma, me motivaron a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. Este es un paso más hacia las metas que juntos soñamos.

Agradecimiento

Agradezco, en primer lugar, a Dios por darme la fuerza y salud para culminar esta etapa. A mi familia, por ser mi motor diario y brindarme su apoyo incondicional, a mis profesores y tutores, quienes con paciencia y sabiduría guiaron mi formación académica, a mis amigos, por estar siempre presentes, ofreciendo palabras de aliento cuando más las necesitaba. A todos quienes, directa o indirectamente, aportaron con sus conocimientos, consejos o gestos de apoyo para que este trabajo sea posible. Finalmente, agradezco a la vida por las experiencias y aprendizajes que me han formado no solo como profesional, sino como persona.

Resumen

La contaminación por metales pesados en ecosistemas costeros representa una amenaza ambiental y sanitaria creciente. En este contexto, la presente investigación evaluó la concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en ejemplares de *Anadara tuberculosa* recolectados en el estuario del río Chone (San Vicente, Manabí), con el propósito de determinar su nivel de riesgo para el consumo humano y su potencial como bioindicador ambiental. Se planteó la hipótesis de que las concentraciones de estos metales superan los límites permisibles establecidos por normativas internacionales. Para ello, se analizaron 30 ejemplares mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los resultados mostraron concentraciones de Pb entre 0,011 y 0,028 mg/kg, y de Cd entre 0,259 y 0,354 mg/kg, todos por debajo de los límites establecidos por la Unión Europea (1,5 mg/kg para Pb y 1,0 mg/kg para Cd). Se identificó una correlación positiva entre el tamaño de los organismos y los niveles de metales, lo que evidencia un patrón de bioacumulación. En comparación con estudios similares en otras zonas del Ecuador, las concentraciones observadas fueron considerablemente menores. Se concluye que, bajo las condiciones analizadas, el consumo de *A. tuberculosa* no representa un riesgo sanitario inmediato y que esta especie es un bioindicador eficaz para el monitoreo de metales pesados en ambientes estuarinos.

Palabra clave: *Anadara tuberculosa*, plomo, cadmio, bioacumulación, estuario.

Abstract

Heavy metal pollution in coastal ecosystems represents a growing environmental and public health threat. In this context, the present study evaluated the concentration of lead (Pb) and cadmium (Cd) in specimens of *Anadara tuberculosa* collected from the Chone River estuary (San Vicente, Manabí), with the aim of determining their risk level for human consumption and their potential as environmental bioindicators. The hypothesis proposed that the concentrations of these metals exceed the permissible limits established by international regulations. To test this, 30 specimens were analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP- MS). The results showed Pb concentrations ranging from 0.011 to 0.028 mg/kg, and Cd concentrations from 0.259 to 0.354 mg/kg, all below the limits established by the European Union (1.5 mg/kg for Pb and 1.0 mg/kg for Cd). A positive correlation was identified between organism size and metal levels, indicating a pattern of bioaccumulation. Compared to similar studies in other regions of Ecuador, the observed concentrations were considerably lower. It is concluded that, under the analyzed conditions, the consumption of *A. tuberculosa* does not pose an immediate health risk and that this species serves as an effective bioindicator for monitoring heavy metals in estuarine environments.

Keywords: *Anadara tuberculosa*, lead, cadmium, bioaccumulation, estuary

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. METODOLOGÍA	16
2.1 Área de muestreo	16
2.2 Manejo de Muestras	17
2.3 Medición de longitud de los especímenes	17
2.4 Cuantificación de Metales Pesados	18
2.5 Análisis de Datos	18
2.5.1 Análisis de Correlación entre el tamaño y los Niveles de Metales Pesados...	19
2.5.2 Comparación de Resultados con Estudios Previos	19
2.5.3 Comparación de los Resultados con los Límites Permisibles de la Unión Europea	19
3 RESULTADOS	20
3.1 Análisis del tamaño de los especímenes	20
3.2 Evaluación de Metales Pesados	21
3.3 Análisis de Datos	22
3.3.1 Análisis de correlación entre la longitud de los ejemplares y los niveles de metales pesados	23
3.3.2 Comparación de Resultados con Estudios Previos	25
4 DISCUSIÓN	27
5 CONCLUSIONES	30
6 RECOMENDACIONES	31
7 BIBLIOGRAFÍA	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Estadística descriptiva de las longitudes (cm) de <i>Anadara tuberculosa</i>	20
Tabla 2: Concentraciones de Pb y Cd en <i>Anadara tuberculosa</i> y sus tamaños	21
Tabla 3: Coeficientes de correlación (r) y valores de significancia (p) entre el tamaño de <i>Anadara tuberculosa</i> y la concentración de Pb y Cd	25
Tabla 4: Comparación de valores máximos de Pb y Cd en <i>Anadara tuberculosa</i> reportados en estudios ecuatorianos y límites establecidos por la UE	25

ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura 1: Vista externa e interna de las valvas del molusco <i>Anadara tuberculosa</i> ...	14
Figura 2: Ubicación de la zona de origen de los organismos de estudio	16
Figura 3: Distancia registrada de ancho de valva de especímenes de <i>Anadara tuberculosa</i>	17
Figura 4: Rangos de longitud total de <i>Anadara tuberculosa</i>	20
Figura 5: Gráfico de caja y bigotes de los valores de Pb de <i>Anadara tuberculosa</i> ...	22
Figura 6: Gráfico de caja y bigotes de los valores de Cd de <i>Anadara tuberculosa</i> ...	23
Figura 7: Gráfico de dispersión entre el tamaño de <i>Anadara tuberculosa</i> y los valores de Pb	24
Figura 8: Gráfico de dispersión entre el tamaño de <i>Anadara tuberculosa</i> y los valores de Cd	24
Figura 9: Gráfico de barras agrupadas de valores de Pb y Cd encontrados en <i>Anadara tuberculosa</i> en diferentes estudios en la costa ecuatoriana	26

1. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hídricas y los ecosistemas costeros han interactuado a lo largo del tiempo con un continuo intercambio de materiales (Guillén, 1982; Mogollón, 1985). Esta dinámica ha favorecido la entrada de diversos compuestos, incluidos metales pesados, en los ambientes acuáticos (Cabrera, 2017). En las últimas décadas, la presencia de metales pesados en los ecosistemas marinos ha cobrado una creciente importancia debido a su persistencia, toxicidad en bajas concentraciones y capacidad de bioacumulación en la cadena trófica. Estos elementos, al ingresar al sistema biológico, afectan directamente a la biota acuática y pueden representar un riesgo significativo para la salud humana, especialmente cuando estos organismos contaminados forman parte de la dieta (Sadiq, 1992).

Entre los metales pesados más perjudiciales para el ecosistema marino están el Pb y Cd, estos se liberan en los océanos por diversas acciones antropogénicas como la fumigación de cultivos, la combustión de diversos carburantes y la descarga de aguas residuales a los caudales afluentes a los océanos, lo cual intensifica la contaminación en zonas costeras (Coto, 2013). La amenaza asociada a estos metales pesados supera la de otros metales, ya que, al carecer de degradación química o biológica, tienen la capacidad de perdurar en el entorno por largos periodos de tiempo (Covarrubias y Peña, 2017).

Frente a esta problemática, diversos organismos marinos han sido utilizados como bioindicadores para monitorear la contaminación por metales pesados, siendo los moluscos bivalvos especialmente útiles por su capacidad para acumular y tolerar altos niveles de contaminantes (Acosta & Lodeiros, 2003). como los especímenes de la familia *Arcidae*, *Anadara tuberculosa* (figura 1) que se destacan por su amplia

distribución, disponibilidad estacional y facilidad de colecta, además de mostrar respuestas rápidas a cambios en la calidad del agua (Phillips & Rainbow, 1997).

Anadara tuberculosa es una especie bentónica, filtradora, que se alimenta de partículas en suspensión como microalgas y detritos. Además de su papel ecológico, tiene una importancia socioeconómica destacada, siendo fuente de alimento y sustento para comunidades costeras (Gonzabay Rodríguez, 2014). Su capacidad de bioacumulación convierte a esta especie en un excelente modelo para evaluar la presencia de contaminantes en ambientes estuarinos (Guzmán, 2019). La morfología interna y externa de las valvas se muestran en la figura 1.

Figura 1

Vista externa e interna de las valvas del molusco Anadara tuberculosa.



Nota. Elaboración propia tomada en 2024.

El estuario del río Chone, ubicado en el cantón San Vicente (Manabí, Ecuador), es una zona de intensa actividad humana, conformado por los ríos Chone y Carrizal. Esta región se ha visto afectada por la descarga continua de metales pesados provenientes de actividades antropogénicas, que se incrementan progresivamente en los sedimentos y organismos acuáticos mediante procesos de bioacumulación. Esto

puede generar impactos negativos en el ecosistema como en la salud humana por el consumo de especies marinas contaminadas (Pozo, 2016).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala que la acumulación de metales pesados como el Cd en la cadena alimentaria representa una seria amenaza para la salud humana, ya que puede provocar daños renales y óseos, además de estar clasificado como posible carcinógeno para los humanos (OMS, 2007). Asimismo, el Pb es considerado un tóxico acumulativo de alta peligrosidad, cuya exposición prolongada se ha relacionado con un amplio espectro de afecciones sistémicas. Entre ellas se incluyen daños neurológicos irreversibles, trastornos hematológicos, alteraciones gastrointestinales, y disfunciones cardiovasculares y renales, incluso a niveles de exposición bajos (OMS, 2023). Estas evidencias subrayan la urgencia de monitorear y controlar los niveles de estos contaminantes en especies marinas destinadas al consumo humano, particularmente en comunidades costeras donde la pesca representa una fuente alimentaria primaria.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo analizar la concentración de Pb y Cd en ejemplares de *Anadara tuberculosa* recolectados en el estuario del río Chone, y partiendo de la hipótesis de que dichas concentraciones exceden los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental ecuatoriana.

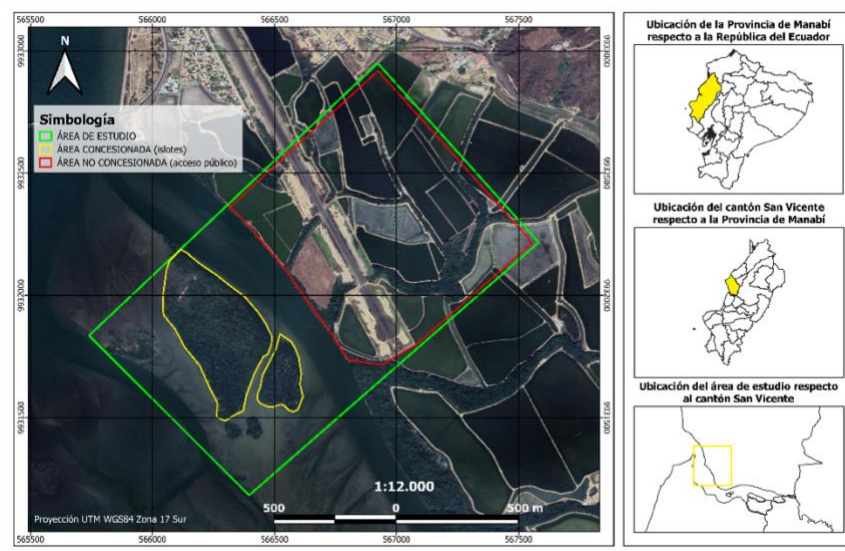
2. METODOLOGÍA

2.1 Área de muestreo

Los especímenes analizados en este estudio proceden del área de manglar del estuario del río Chone, ubicada en el cantón San Vicente (Manabí), en el margen norte del río, esta zona comprende el área intermareal, desde los islotes hasta los límites de la pista de la aeronáutica civil (figura 2). Los ejemplares utilizados en este estudio fueron adquiridos directamente a los pescadores artesanales de la zona del estuario, ya que bajo un acuerdo ministerial ellos son los encargados de la custodia y uso de dicha zona del manglar (COA, 2017) (Ayala, 2023) realizando actividades de extracción y comercialización del recurso en mercados locales para consumo humano en el marco de dichas actividades autorizadas.

Figura 2

Ubicación de la zona de origen de los organismos de estudio.



Nota. La imagen muestra la delimitación geográfica del área de muestreo en la zona de manglar del cantón San Vicente, Manabí. El recuadro verde y amarillo corresponde al área estudiada, mientras que el polígono rojo indica zonas excluidas. Adaptada de Ayala (2023).

2.2 Manejo de Muestras

El tamaño de muestra fue de 30 ejemplares de talla comercial, que fueron colocados en recipientes de vidrio y transportadas al laboratorio de Zoología de la Universidad para su limpieza, clasificación en tres grupos de talla, medición, rotulación.

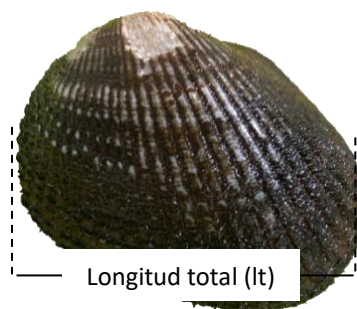
Se extrajeron los tejidos blandos de cada uno de los individuos, registrando su peso con una balanza de laboratorio de $\pm 0,1$ gr de precisión, para ser puestos en congelación utilizando un congelador doméstico a una temperatura de -20°C . Una vez las muestras se congelaron, fueron transferidas al laboratorio AGQ PERU, S.A.C., ubicado en la ciudad de Guayaquil para el respectivo análisis de metales pesados (Pb y Cd).

2.3 Medición de longitud de los especímenes

Se realizó la medición de la longitud de los especímenes siguiendo el protocolo descrito previamente (Mendoza & Alvitres 2016). Se tomaron medidas del ancho de valva, utilizando un calibrador graduado en 0,1 milímetros como se muestra en la figura 3. Los valores se reportaron en centímetros (cm).

Figura 3

Distancia registrada de ancho de valva de especímenes de Anadara tuberculosa.



Nota. Fotografía tomada durante el muestreo en 2024.

2.4 Cuantificación de Metales Pesados

La cuantificación de los metales pesados Pb y Cd se hizo mediante la técnica de Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS, por sus siglas en inglés). Para esto, siguiendo la metodología de Loaiza et al. (2018), se llevó a cabo la preparación de la muestra de la siguiente manera:

- Se secó la muestra por 72 horas a 60°C.
- Se pesaron 0,2 gramos de tejidos aproximadamente.
- Se diluyó el tejido durante una noche con 2 ml de ácido nítrico concentrado al 69%.
- Se secó el tejido al día siguiente a 110°C durante 30 minutos en un digestor Hot Block.
- Se dejó enfriar el tejido por 3 minutos aproximadamente.
- Se añadió 0,25 ml de peróxido de hidrogeno al tejido.
- Se secaron durante 30 minutos más, hasta completar la total digestión a 110°C.

Una vez preparada la muestra esta se diluyó 10 veces con Milli Q grade para después de esto analizar con espectrometría ICP-MS, con límite de cuantificación de 0,1 mg/kg para Cd y 0,005 para el Pb. Finalmente, las concentraciones de metales se reportaron en miligramos por kilogramo (mg/kg) de peso de tejido.

2.5 Análisis de Datos

Se realizaron diagramas de caja y bigotes para cada metal pesado, con el fin de mostrar la distribución de los datos, es decir, evidenciar la presencia de valores atípicos, rango de concentraciones, simetría o sesgo de los datos. Los análisis se realizaron utilizando el software Microsoft Excel

2.5.1 Análisis de Correlación entre el tamaño y los Niveles de Metales Pesados

Con ayuda de gráficos de dispersión, se realizó una descripción de la correlación entre el tamaño y las concentraciones de Pb y Cd por separado. También se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para determinar de manera cuantitativa el nivel de correlación y finalmente la significancia estadística (p -valor) para definir si la correlación era estadísticamente significativa al 95% de confianza.

2.5.2 Comparación de Resultados con Estudios Previos

Se estableció una comparación de los valores máximos de Pb y Cd obtenidos en este estudio con los reportados previamente en *Anadara tuberculosa* por investigaciones realizadas en diferentes zonas de la costa ecuatoriana. Para ello, se seleccionaron estudios con metodologías analíticas similares y con muestras provenientes de ambientes estuarinos, a fin de garantizar la coherencia en la comparación. Los valores reportados fueron extraídos directamente de las fuentes bibliográficas y organizados en una tabla comparativa para su posterior análisis.

2.5.3 Comparación de los Resultados con los Límites Permisibles de la Unión Europea

Se compararon los valores obtenidos de Pb y Cd con los valores máximos permitidos de estos metales pesados en moluscos bivalvos según la legislación de la Unión Europea (*REGLAMENTO (UE) 2023/915 DE LA COMISIÓN*, 2023), debido a que en Ecuador no existe una normativa específica que regule los niveles permitidos de metales pesados en productos marinos destinados al consumo humano.

3 RESULTADOS

3.1 Análisis del tamaño de los especímenes

Los organismos analizados presentaron longitud total máxima de 7,8 cm y mínima de 4,6 cm, en la tabla 1 se presenta la estadística descriptiva correspondiente.

Tabla 1

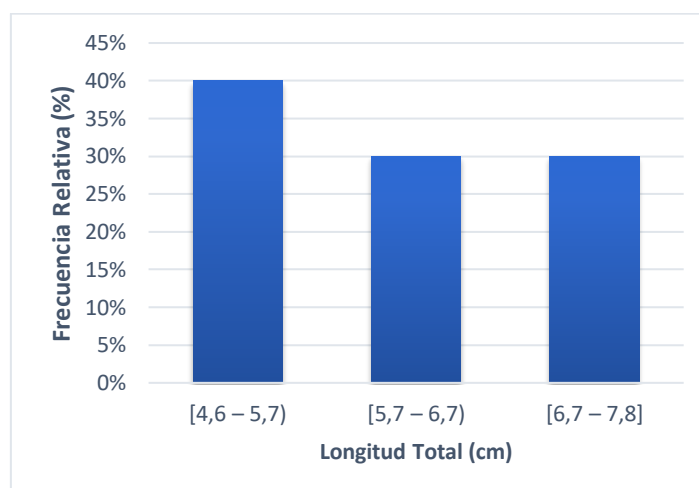
Estadística descriptiva de las longitudes (cm) de Anadara tuberculosa.

Estadístico	Valor
N (número de individuos)	30
Mínimo	4,6
Máximo	7,8
Media (promedio)	6,8
Mediana	6,2
Moda	5,5 - 7,2
Desviación estándar	0,92
Varianza	0,84

En la figura 4 se graficaron los rangos de longitud total de *A. tuberculosa*, mostrando que el 40% de los organismos evaluados presentaban longitud total de 4,6 a 5,7 cm; un 30% se de 5,7 a 6,7 cm, y el otro 30% a organismos con longitudes de 6,7 a 7,8 cm.

Figura 4

Rangos de longitud total de Anadara tuberculosa.



3.2 Evaluación de Metales Pesados

En la Tabla 2 se presentan los resultados de metales pesados: Pb y Cd obtenidos a partir de la técnica ICP-MS.

Tabla 2

Concentraciones de Pb y Cd en Anadara tuberculosa y sus tamaños.

MUESTRA	TAMAÑO	PLOMO (mg/kg)	CADMIO (mg/kg)
1	4,6	0,01205	0,263
2	4,7	0,01430	0,275
3	4,8	0,01137	0,259
4	4,9	0,01184	0,262
5	5,0	0,01427	0,275
6	5,2	0,01482	0,278
7	5,3	0,01459	0,277
8	5,4	0,01381	0,273
9	5,5	0,01316	0,271
10	5,5	0,01351	0,273
11	5,5	0,01648	0,287
12	5,6	0,01624	0,286
13	5,7	0,02166	0,316
14	5,9	0,01774	0,294
15	6,0	0,01921	0,303
16	6,1	0,01626	0,286
17	6,2	0,02026	0,308
18	6,2	0,02045	0,309
19	6,3	0,01878	0,300
20	6,5	0,01759	0,294
21	6,6	0,02811	0,352
22	6,8	0,02598	0,340
23	6,9	0,02659	0,344
24	7,0	0,02846	0,354
25	7,1	0,02418	0,330

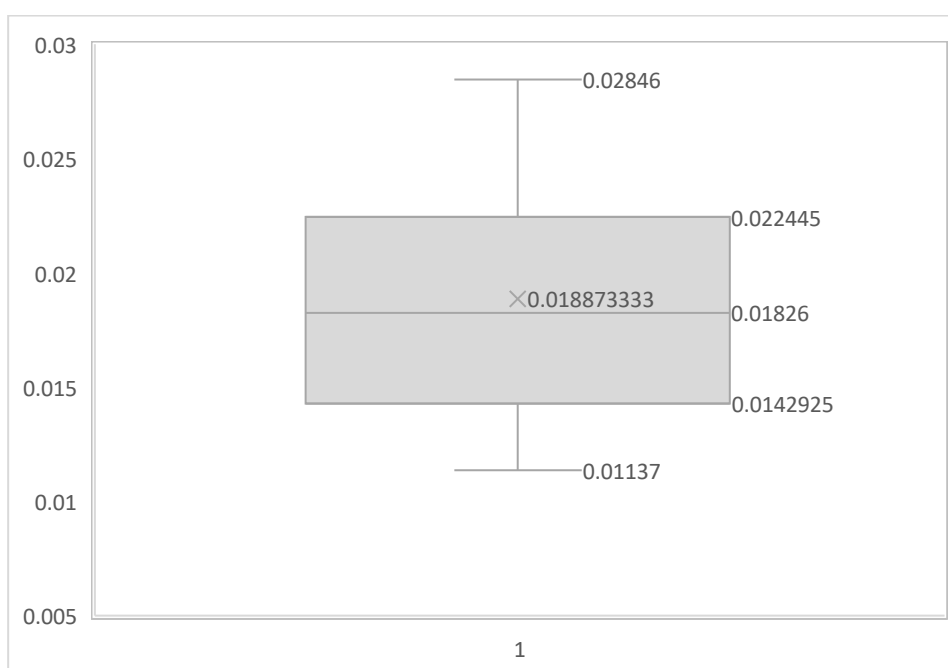
26	7,2	0,02182	0,317
27	7,2	0,02375	0,328
28	7,4	0,02513	0,336
29	7,5	0,02201	0,318
30	7,9	0,02178	0,317

3.3 Análisis de Datos

Según el gráfico de cajas y bigotes para la concentración de Pb en los tejidos de *Anadara tuberculosa*, el valor mínimo es de 0,01137 mg/kg, el valor máximo de 0,02846 mg/kg y la mediana se encuentra en aproximadamente 0,01826 mg/kg, este último valor indica que la mayoría de las muestras presentan concentraciones de Pb relativamente bajas. Los bigotes se extienden hasta los valores mínimo y máximo, sin detectarse valores atípicos (*outliers*) en los datos. Esto sugiere que la concentración de Pb en los tejidos analizados es relativamente homogénea, con valores que no presentan grandes variaciones ni valores extremos significativos (Figura 5).

Figura 5

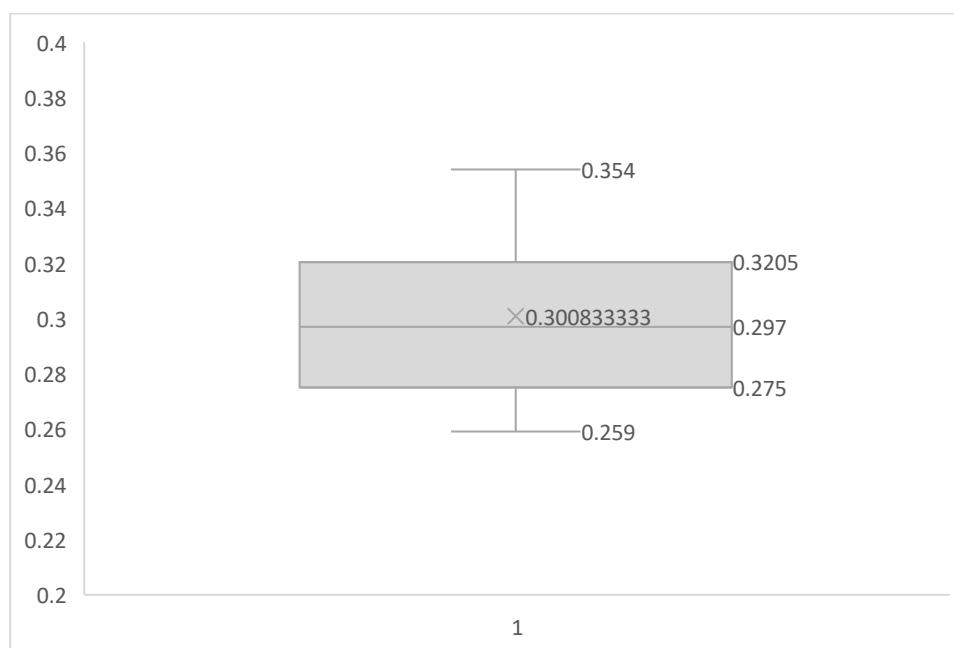
Gráfico de caja y bigotes de los valores de Pb de Anadara tuberculosa.



Con respecto al gráfico de cajas y bigotes para la concentración de Cd, este revela una distribución ligeramente más amplia en comparación con el Pb. El valor mínimo es de 0,259 mg/kg, el valor máximo de 0,354 mg/kg y la mediana se sitúa en el valor de 0,297 mg/kg, lo que indica una presencia moderada de Cd en los tejidos de los organismos analizados. El rango intercuartílico es amplio, reflejando una mayor variabilidad entre las muestras. Al igual que en Pb, no se observaron valores atípicos evidentes (Figura 6).

Figura 6

Gráfico de caja y bigotes de los valores de Cd de Anadara tuberculosa.

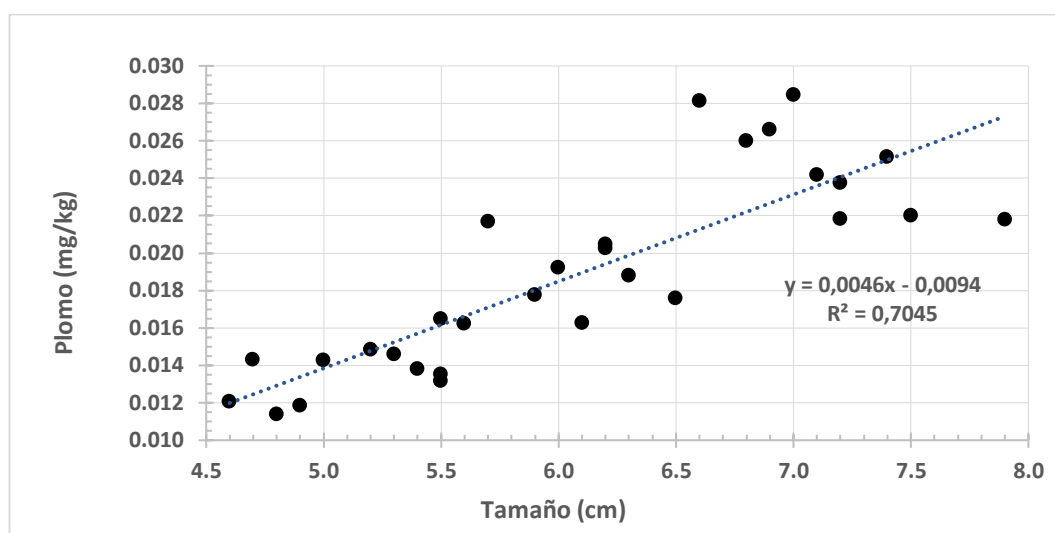


3.3.1 Análisis de correlación entre la longitud de los ejemplares y los niveles de metales pesados

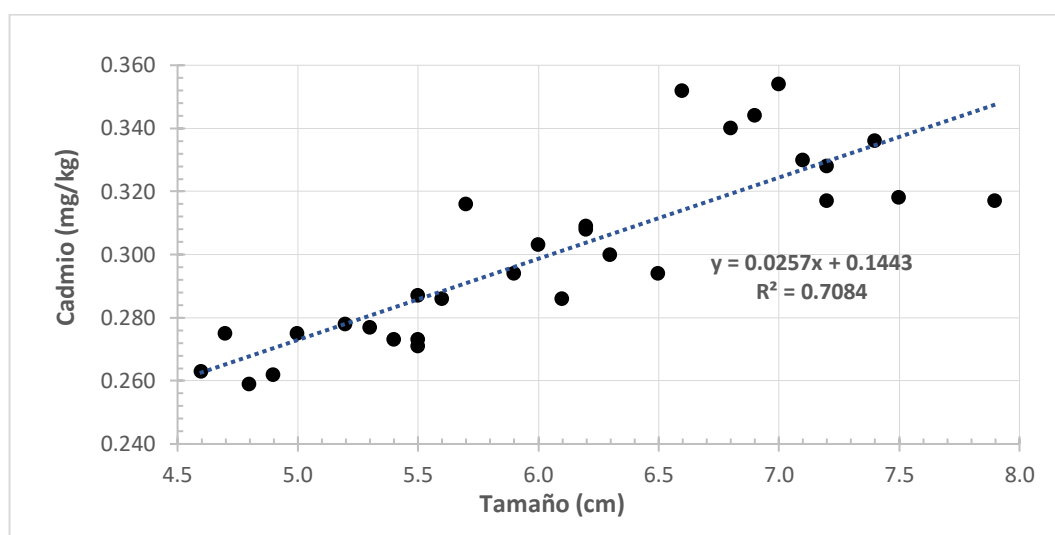
En los gráficos de dispersión se evidencia con claridad que tanto para el Pb (Figura 7) como para el Cd (Figura 8), existe una ligera tendencia a que las concentraciones aumenten conforme aumenta el tamaño de los organismos. Esto se observa porque las líneas de tendencia (las rectas) tienen una pequeña pendiente positiva.

Figura 7

*Gráfico de dispersión del tamaño de *Anadara tuberculosa* y los valores de Pb.*

**Figura 8**

*Gráfico de dispersión del tamaño de *Anadara tuberculosa* y los valores de Cd.*



Al analizar los coeficientes de correlación de Pearson (r), tanto para el Pb como para el Cd (tabla 3), se determina que ambos coeficientes son positivos y muy altos, Pb: 0,839 y Cd: 0,842, lo que indica que sí existe una fuerte correlación positiva entre la longitud total de *Anadara tuberculosa* y las concentraciones de Pb y Cd en sus tejidos.

Finalmente, los valores de p al ser extremadamente bajos, Pb: $6,78 \times 10^{-9}$ y Cd (Cd): $5,63 \times 10^{-9}$, indican que esta correlación es estadísticamente significativa.

Tabla 3

Coefficientes de correlación (r) y valores de significancia (p) entre el tamaño de Anadara tuberculosa y la concentración de Pb y Cd.

	Plomo (Pb)	Cadmio (Cd)
Coefficiente de correlación (r)	0,839	0,842
Significancia estadística (p-valor)	$6,78 \times 10^{-9}$	$5,63 \times 10^{-9}$

3.3.2 Comparación de Resultados con Estudios Previos

Al comparar los valores de Pb y Cd obtenidos en este estudio con los reportados por Lozano-Pérez & Mora-Solórzano (2021), Villón-Navas (2022) y Cedeño-Vinces (2023), se observa (tabla 4 y figura 9) que los niveles encontrados en los ejemplares analizados se encuentran muy por debajo de los valores registrados en otras zonas costeras del país.

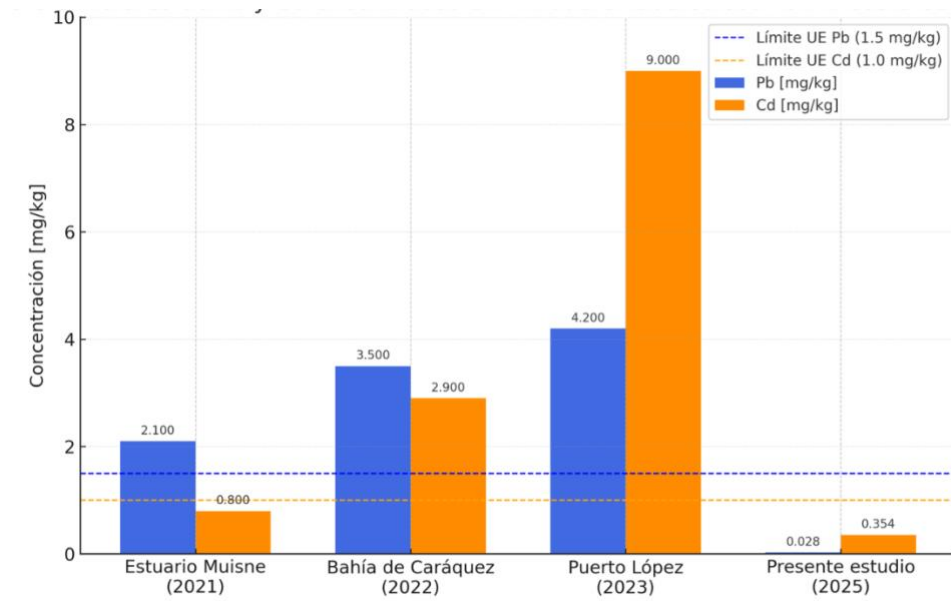
Tabla 4

Comparación de valores máximos de Pb y Cd en Anadara tuberculosa reportados en estudios ecuatorianos y límites establecidos por la UE.

Estudio	Ubicación	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Presente estudio	Estuario del río Chone	0,028	0,354
Cedeño-Vinces (2023)	Golfo de Guayaquil	3,00	8,20
Villón-Navas (2022)	Puerto Bolívar	2,969	—
Lozano & Mora (2021)	Puerto Balao	0,411	0,988
Límite UE 2023/915	Moluscos bivalvos	1,5	1,0

Figura 9

Gráfico de barras agrupadas de valores de Pb y Cd encontrados en Anadara tuberculosa en diferentes estudios en la costa ecuatoriana.



4 DISCUSIÓN

Los organismos analizados presentaron un tamaño total entre 4,4 y 7,9 cm de longitud total. Se observa que el 40% de los individuos evaluados presentó una longitud entre 4,6 y 5,7 cm; el 30% se ubicó entre 5,7 y 6,8 cm; y el 30% restante, entre 6,8 y 7,9 cm. Estos rangos fueron definidos en función de la distribución de frecuencias obtenida en el análisis de los datos, permitiendo clasificar a los ejemplares en tres grupos proporcionales según su tamaño. Además, esta categorización se alinea con referencias biológicas de la especie, en las cuales los individuos menores a 5,5 cm pueden considerarse juveniles, entre 5,5 y 6,8 cm como intermedios, y mayores a 6,8 cm como adultos (Panta-Vélez, 2020). Estos resultados indican que la mayoría de los ejemplares muestreados corresponden a individuos de talla intermedia, lo cual podría reflejar una población en proceso de crecimiento o un reclutamiento reciente en el área de estudio.

Los resultados obtenidos en este estudio revelan que los ejemplares de *Anadara tuberculosa* recolectados en el estuario del río Chone presenta concentraciones detectables de Pb y Cd, ambos metales pesados considerados tóxicos para los organismos acuáticos y potencialmente perjudiciales para la salud humana (Sadiq, 1992). Sin embargo, ambos metales presentan concentraciones relativamente bajas en las muestras analizadas.

Las concentraciones de Pb oscilaron entre 0,01137 y 0,02846 mg/kg, mientras que las de Cd estuvieron en un rango de 0,259 a 0,354 mg/kg. Estas concentraciones se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el *REGLAMENTO (UE) 2023/915 DE LA COMISIÓN* (2023), el cual establece un máximo de 1,5 mg/kg para el Pb y 1,0 mg/kg para el Cd en moluscos bivalvos. Lo anterior sugiere que, al momento del estudio, el consumo de esta especie no

representa un riesgo inmediato para la salud humana desde el punto de vista de la exposición a estos metales.

Los gráficos de caja y bigotes muestran una distribución relativamente homogénea de ambos metales. Sin embargo, es importante destacar que el Cd presenta una mayor dispersión en los datos en comparación con el Pb. Este comportamiento concuerda con lo reportado en la literatura, donde se indica que el Cd tiene mayor movilidad en ambientes acuáticos y puede verse más afectado por variables como el pH, la salinidad y la presencia de materia orgánica (Cedeño-Vinces, 2023).

En contraste, el Pb tiende a ser más residual, ya que se adhiere con mayor facilidad a los sedimentos y partículas en suspensión, lo que limita su biodisponibilidad inmediata, pero favorece su acumulación a largo plazo. Este patrón sugiere que el Cd podría estar más activamente disponible en el ambiente, mientras que el Pb, aunque menos móvil, puede permanecer durante más tiempo en el ecosistema, actuando como una fuente de exposición crónica. Además, la variabilidad observada podría relacionarse con factores biológicos como la edad o el tamaño de los organismos, los cuales influyen en la bioacumulación de estos elementos (Rainbow, 2002; Amiard et al., 2006).

Dichos gráficos (figura 6 y 7) indican también ligeras asimetrías y algunos valores superiores, aunque sin presencia de valores atípicos extremos. Asimismo, los gráficos de dispersión (figura 7) indicaron una relación positiva moderada entre el tamaño de los organismos y la concentración de los metales, especialmente en el caso del Pb. Esta tendencia sugiere que a medida que los individuos crecen podrían estar bioacumulando mayores concentraciones de metales pesados, posiblemente debido a una mayor exposición prolongada a los contaminantes presentes en el medio.

Los valores del coeficiente de correlación, Pb: 0,839 y Cd: 0,842, tan cercanos a 1, sustentan las dinámicas de los gráficos de dispersión, indicando una fuerte correlación positiva entre los datos de morfometría (longitud total) y metales pesados Pb y Cd. Es decir, a mayor longitud total de *Anadara tuberculosa*, mayores concentraciones de Pb y Cd en sus tejidos.

Finalmente, los niveles observados son similares a los reportados por Guzmán (2019) en estuarios costeros del Ecuador, donde también se encontró una bioacumulación moderada en *Anadara tuberculosa*. Sin embargo, a diferencia de otros cuerpos de agua más industrializados, el estuario del río Chone presenta valores considerablemente más bajos, lo cual podría relacionarse con una menor actividad antrópica directa en la zona de muestreo.

5 CONCLUSIONES

- Las concentraciones de Pb y Cd detectadas en *Anadara tuberculosa* se encontraron por debajo de los límites permisibles establecidos por la normativa de la Unión Europea, lo que sugiere que, en las condiciones analizadas, el consumo de esta especie no representa un riesgo inmediato para la salud pública.
- La distribución de los metales pesados en los tejidos analizados fue relativamente homogénea, sin presencia de valores atípicos extremos, lo que indica una posible exposición ambiental común entre los ejemplares recolectados.
- Se evidenció que el coeficiente de correlación presenta un rango positivo entre la longitud de los individuos y las concentraciones de Pb y Cd, lo que indica una bioacumulación progresiva a lo largo del crecimiento del molusco. Además, los valores de significancia estadística obtenidos para ambos metales permiten afirmar que dicha correlación es altamente significativa.
- Los resultados respaldan el uso de *Anadara tuberculosa* como un bioindicador eficaz para el monitoreo ambiental de metales pesados en ecosistemas estuarinos, dada su alta capacidad filtradora, su contacto constante con sedimentos y su sensibilidad a la contaminación metálica.

6 RECOMENDACIONES

- Realizar monitoreos periódicos a lo largo del año que consideren las distintas épocas estacionales, con el fin de identificar posibles fluctuaciones temporales en la concentración de metales pesados y establecer tendencias más precisas sobre la calidad ambiental del estuario.
- Ampliar el número de muestras y diversificar los puntos de recolección para lograr una caracterización espacial más representativa del estado de contaminación del estuario del río Chone.
- Incluir en futuros estudios otros metales de interés ambiental, como el mercurio (Hg) y el arsénico (As), con el propósito de obtener una evaluación más integral del riesgo ecotoxicológico en los ecosistemas estuarinos.
- Promover prácticas sostenibles en las actividades agrícolas, urbanas y productivas dentro de la cuenca del río Chone, con el objetivo de minimizar la descarga de contaminantes hacia los cuerpos de agua y proteger la salud ambiental del ecosistema marino-costero.
- Socializar los resultados de este estudio con las comunidades pesqueras, gestores ambientales y autoridades locales, fortaleciendo el enfoque de gestión participativa y responsable del recurso y contribuyendo a la seguridad alimentaria mediante un uso informado de los recursos pesqueros.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V., & Lodeiros, C. (2003). Metales pesados en la almeja *Tivela mactroides* Born, 1778 (Bivalvia: Veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802004000300005
- Amiard, J. C., et al. (2006). Bioaccumulation of heavy metals in aquatic environments: trends and perspectives. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64(3), 442–457. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.04.018>
- Cabrera Idrovo, R. (2017). Análisis de las concentraciones de metales pesados e hidrocarburos en el período 2015–2016 en sedimento de la zona intermareal de Santa Elena y Manabí, Ecuador. Recuperado de: http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/2114/1/2010110061_%20AN%c3%81LISIS%20DE%20LAS%20CONCENTRACIONES%20DE%20METALES%20PESADOS%20E%20HIDROCARBUROS%20EN%20EL%20PER%c3%8dODO%202015.pdf
- 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.
- COA. (2017). Código Orgánico del Ambiente. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

- Coto, J. (2013). Estudios de bioacumulación de un metal de interés en contaminación ambiental (plomo) en larvas de lubina de gran valor comercial. Obtenido de <https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/17347/TFG%20-%20Jose%20Oscar%20Coto%20Reyes%20Dic%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(4), 55-63.
- Gonzabay Rodríguez, C. A. (2014). Incidencia de la pesca artesanal en las poblaciones de la ostra de piedra (*Crassostrea iridescens*) en los arrecifes rocosos de Ayangue, provincia de Santa Elena. repositorio.ug.edu.ec. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/6087/1/TESIS%2c%20Carlos%20Gonzabay.pdf>
- Guillén, R. (1982). Análisis químico de los elementos: Cu, Cr, Pb, Zn, Cd, Ni, Fe, Co, As, Hg, y carbono orgánico en los sedimentos del Río Tuy. Trabajo especial de ascenso, Universidad Central de Venezuela, 73 pp.
- Loaiza, I., De Troch, M., & De Boeck, G. (2018). Potential health risks via consumption of six edible shellfish species collected from Piura–Peru. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 249-260.
- Lozano-Pérez, A., & Mora-Solórzano, E. (2021). Determinación de la contaminación por cadmio y plomo en agua, sedimentos y *Anadara tuberculosa* en el área de manglar de Balao, Provincia de Guayas Tesis para el grado de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Naturales.

- Mendoza, O., & Alvitres, V. (2016). Crecimiento y supervivencia de *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833) a tres densidades. *Revista de Investigación Científica Manglar*, 12(1), 55-64.
- Mogollón, J. and Bifano, C. (1985). Estudio geoquímico de contaminación por metales pesados en sedimentos de la cuenca del Río Tuy. VI Congreso Geológico venezolano. Resumen extenso, pp. 1893-1928.
- Organización Mundial de la Salud (2007). Health risks of heavy metals from long-range transboundary air pollution.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789289071796>
- Organización Mundial de la Salud (2023). Chemical Safety and Health.
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/372293/9789240078130-eng.pdf?sequence=1>
- Panta Vélez, R. P., et al. (2020). Reproductive Cycle of *Anadara tuberculosa*...
Advances in Environmental Biology, 14(2), 1–11.
- Pozo-Miranda, F. (2016). Presencia de metales pesados cadmio y plomo en el estuario del río Chone. Obtenido de:
<http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/565/432>
- Rainbow, P. S. (2002). Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: why and so what? *Environmental Pollution*, 120(3), 497–507. Recuperado de:
[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00238-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00238-5)
- REGLAMENTO (UE) 2023/915 DE LA COMISIÓN. (2023). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R0915>
- Villón Navas, B. T. (2022). Determinación de concentraciones de cadmio y mercurio en concha prieta, *Anadara tuberculosa* Sowerby, 1833, agua y sedimento del

refugio de vida silvestre manglares El Morro La Libertad: Universidad Estatal
Península de Santa Elena, 2022.