



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL  
CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA**

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

**TRABAJO EXPERIMENTAL:**

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD FILTRADORA DE CR Y PB DE LA  
VALVA PULVERIZADA DE ANADARA TUBERCULOSA MEDIANTE MUESTRAS  
LÍQUIDAS ADYACENTES A LA ZONA HABITADA EN LA ISLA SANTAY,  
GUAYAQUIL, ECUADOR**

**AUTORES:**

HELEN PAOLA BRIONES MONTALVO  
PAULO MARCELO FRANCO ARELLANO

**TUTORA:**

Ing. CARINA ELIZABETH HIDALGO RAMÍREZ, MSc.

GUAYAQUIL – ECUADOR  
2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Helen Paola Briones Montalvo con documento de identificación N° 0921670949 y Paulo Marcelo Franco Arellano con documento de identificación N° 0950283861; 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, 05 de septiembre del año 2023

Atentamente,

*Helen Paola BM*

\_\_\_\_\_  
Helen Paola Briones Montalvo

0921670949

*Paulo Marcelo*

\_\_\_\_\_  
Paulo Marcelo Franco Arellano

0950283861

## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR

Nosotros, Helen Paola Briones Montalvo con documento de identificación No. 0921670949 y Paulo Marcelo Franco Arellano con documento de identificación No. 0950283861 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 de titulación: **“Determinación de la capacidad filtradora de metales pesados (Cr y Pb) mediante pulverización de valva *Anadara tuberculosa* en muestras líquidas obtenidas en áreas habitadas de la Isla Santay, Guayaquil, Ecuador”** el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero/a en biotecnología de los recursos naturales, 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, 05 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Helen Paola Briones Montalvo  
0921670949



---

Paulo Marcelo Franco Arellano  
0950283861

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carina Elizabeth Hidalgo Ramírez con documento de identificación N° 1722655519, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“Determinación de la capacidad filtradora de metales pesados (Cr y Pb) mediante pulverización de valva *Anadara tuberculosa* en muestras líquidas obtenidas en áreas habitadas de la Isla Santay, Guayaquil, Ecuador”**, realizado por Helen Paola Briones Montalvo con documento de identificación N° 0921670949 y por Paulo Marcelo Franco Arellano con documento de identificación N° 0950283861, 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, 05 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Carina Elizabeth Hidalgo Ramírez  
1722655519

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, por ser el pilar fundamental en mi vida espiritual, por guiarme, por darme salud y mantenerme de pie ante cualquier circunstancia.

A mis abuelos, Magda y Galo quienes me han apoyado para poder culminar esta meta y que han creído en mí siempre.

A mis padres, Diana y Fabián, por acompañarme en cada paso de mi vida, por ser el máximo apoyo y estar ahí cuando los he necesitado, quienes me impulsan a ser mejor y me han dado su amor incondicional, por enseñarme que puedo hacer todo lo que me proponga, cumplir todos mis sueños, con dedicación y esfuerzo. Gracias por creer siempre en mí y cada logro de mi vida también será para ustedes.

A Sebastián, por ser mi inspiración para seguir formándome profesionalmente, alentarme cada vez que quiero desistir, por su apoyo, su fortaleza, su amor y respeto. Gracias por recordarme que siempre puedo.

Agradezco principalmente a nuestra tutora, Ing. Carina Hidalgo, a quien admiro y quien nos ha aportado con mucho conocimiento, comprensión y paciencia.

A todos mis docentes por compartir su conocimiento, por siempre alentarnos.

Helen Paola Briones Montalvo.

## **DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por ser parte fundamental en el desarrollo de mi trayectoria estudiantil, por darme salud y conocimientos para seguir adelante.

A mis padres Cristóbal y Grace, por ser la fuente de inspiración y haberme apoyado de forma económica y moral para culminar mi carrera universitaria.

A mis hermanos María y Juan Carlos, por haberme aconsejado en los momentos más importantes de mi vida.

A mi novia Katherine, por haber ayudado, escuchado y aconsejado desde el primer día que te conocí, apoyarme de manera incondicional e inspirarme a lograr todo lo que me proponga.

Agradezco a mis docentes, tutora Ing. Carina Hidalgo, cotutor Ing. Kevin Cedeño y laboratoristas Angie y Karla debido a que gracias a los conocimientos impartidos clase a clase y a la paciencia por parte de ellos, se pudo llevar a cabo la realización del trabajo de titulación.

El desarrollo de la tesis va dedicado de manera especial para mi abuela Lidia, mis padres, hermanos y novia que gracias a ellos pude obtener la inspiración y apoyo que tanto anhelé para culminar con mis estudios y empezar una nueva etapa de mi vida.

Paulo Marcelo Franco Arellano

## RESUMEN

En la presente investigación se utilizó la metodología experimental y correlacional, en la cual se identificaron metales pesados (Cr y Pb) presentes en muestras líquidas obtenidas en zonas adyacentes a la Isla Santay. Se implementó un tratamiento a escala de laboratorio con la finalidad de determinar eficiencia de remoción de metales pesados (Cr y Pb) mediante el uso del pulverizado de la valva de *Anadara tuberculosa* en muestras de agua con concentración de metales (Pb y Cr) de 10,83 y 15,63 ppm. Los análisis de parámetros fisicoquímicos y de metales pesados, se lo realizó mediante el uso de equipos multiparámetros, potenciómetro y espectroscopio de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES) de los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Guayaquil.

En conclusión, como resultados de la experimentación se obtuvieron valores de remoción de 96 y 99% de Pb a un nivel de pH 7 y 10, respectivamente. De igual forma, los valores de remoción de 53 y 76% de Cr a niveles de pH 7 y 10.

**Palabras claves:** *Anadara tuberculosa*, metales pesados, ICP-OES, remoción, carbonato de calcio, Cr, Pb, CaCO<sub>3</sub>, precipitación química, biosorción.

## ABSTRACT

In this research, experimental and correlational methodology was used to identify heavy metals (Cr and Pb) present in liquid samples obtained in areas adjacent to Santay Island. A laboratory-scale treatment was implemented in order to determine the removal efficiency of heavy metals (Cr and Pb) using the pulverised shell of *Anadara tuberculosa* in water samples with metal concentrations (Pb and Cr) of 10.83 and 15.63 ppm. The analysis of physicochemical parameters and heavy metals was carried out using multi-parameter equipment, potentiometer and inductively coupled plasma atomic emission spectroscope (ICP-OES) from the laboratories of the Salesian Polytechnic University - Guayaquil.

In conclusión, as results of the experiment, 96 and 99% Pb removal values were obtained at pH 7 and 10, respectively. Similarly, 53 and 76% Cr removal values were obtained at pH levels 7 and 10.

**Keywords:** *Anadara tuberculosa*, heavy metals, ICP-OES, removal, calcium carbonate, CaCO<sub>3</sub>, Cr, Pb, chemical precipitation, biosorption.



## Tabla de contenido

Capítulo 1 .....	1
Introducción .....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Problema .....	1
1.2.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2.3 Justificación e importancia .....	2
1.3 Ubicación .....	3
1.4 Pregunta de investigación .....	3
1.5 Objetivos .....	4
1.5.1 Objetivo general .....	4
1.5.2 Objetivos específicos .....	4
1.6 Hipótesis .....	4
1.6.1 Hipótesis nula .....	4
1.6.2 Hipótesis alternativa .....	4
Capítulo 2 .....	5
Marco teórico .....	5
2.1. Contaminación ambiental .....	5
2.1.1. Clasificación de contaminantes .....	5
2.1.2. Contaminación del agua .....	6
2.2. Metales pesados .....	6
2.2.1. El elemento Cr y sus efectos .....	6
2.2.2. El elemento Pb y sus efectos .....	7
2.3. Métodos convencionales para eliminación de metales pesados .....	8
2.3.1. Principales tratamientos de agua para eliminar metales pesados .....	8
2.4. Biosorción .....	9
2.4.1. Factores que pueden afectar el proceso de biosorción .....	10
2.5. Biosorbentes .....	11
2.5.1. Biosorbentes utilizados como sustratos .....	11
2.5.2. CaCO <sub>3</sub> como tratamiento .....	12
2.6. <i>Anadara tuberculosa</i> .....	12
2.6.1. Taxonomía de <i>Anadara tuberculosa</i> .....	12
2.6.2. Características de la especie .....	12
2.6.3 Distribución geográfica de la especie. ....	13

2.7. Componentes de la concha de los moluscos.....	14
Capítulo 3 .....	15
Materiales y métodos.....	15
3.1 Marco metodológico.....	15
3.1.1 Nivel de investigación.....	15
3.1.2 Diseño experimental.....	15
3.1.3 Población y muestra.....	15
3.1.4 Variables.....	15
3.2 Metodología de muestreo.....	16
3.2.1 Área de estudio.....	16
3.2.2 Recolección de muestras líquidas y toma de datos <i>in situ</i> .....	16
3.2.3 Toma de parámetros fisicoquímicos <i>ex situ</i> .....	16
3.3 Determinación de Cr y Pb en muestras líquidas.....	17
3.3.1 Digestión química abierta de muestras líquidas.....	17
3.3.2 Curva de calibración.....	17
3.3.3 Determinación de Cr y Pb mediante ICP-OES.....	17
3.4 Recolección de materia prima.....	18
3.5 Obtención de pulverizado de valva de <i>Anadara tuberculosa</i> .....	18
3.5.1 Limpieza de valva de <i>Anadara tuberculosa</i> .....	18
3.5.2 Tratamiento ácido y base.....	18
3.5.3 Molienda y pulverizado de valva.....	18
3.5.4 Tamizado y pesado del pulverizado.....	18
3.6 Implementación del tratamiento de biosorción a partir de pulverizado de valva.....	19
3.6.1 Preparación y estabilización de pH (7 y 10) en soluciones de 10 y 15 ppm de Cr y Pb.....	19
3.6.2 Aplicación de tratamiento a partir de pulverizado de valva de <i>Anadara tuberculosa</i> .....	19
Capítulo 4 .....	20
Resultados y discusiones .....	20
4.1 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.....	20
4.2 Datos de parámetros fisicoquímicos en muestra líquida de Isla Santay.....	20
4.2.1 Nivel de pH, CE (pS/cm) y sólidos totales Disueltos (ppm).....	20
4.3 Concentración de Cr y Pb en 4 puntos de muestreo.....	21
4.4 Resultados de tratamiento de biosorción.....	22

4.5 Comparativa entre valores de remoción de Pb y Cr.....	25
Capítulo 5 .....	28
Conclusiones y recomendaciones .....	28
5.1 Conclusiones .....	28
5.2 Recomendaciones .....	29
Anexos.....	35

### Índice de figuras

Figura 1. Principios del proceso de biosorción de metales pesados de agua contaminada por el uso de microorganismos.....	10
Figura 2. Valva izquierda y derecha con las caras anterior y posterior.....	12
Figura 3. Distribución de Anadara tuberculosa en el mapa.....	13
Figura 4. Ubicación por Google maps de los puntos de muestreo. ....	16

### Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de contaminantes.....	5
Tabla 2. Taxonomía de Anadara tuberculosa.....	12
Tabla 3. Coordenadas de puntos de muestreo.....	20
Tabla 4. Valores obtenidos en puntos de muestreo .....	20
Tabla 5. Concentración de Pb en puntos de muestreo .....	21
Tabla 6. Concentración de Cr en puntos de muestreo.....	22
Tabla 7. Tratamiento de biosorción de Pb con 25 g pulverizado.....	22
Tabla 8. Tratamiento de biosorción de Pb con 50 g pulverizado.....	23
Tabla 9. Tratamiento de biosorción de Pb con 25 g pulverizado.....	24
Tabla 10. Tratamiento de biosorción de Pb con 50 g pulverizado.....	24
Tabla 11. Comparación en tratamiento de biosorción de Pb y Cr con 25 g pulverizado. .....	25
Tabla 12, Comparación en tratamiento de biosorción de Pb y Cr con 50 g pulverizado.	

### Índice de gráficos

<b>Gráfica 1.</b> Valores de parámetros fisicoquímicos en muestra de agua de Isla Santay ..	20
<b>Gráfica 2.</b> Concentración de Pb en muestra de agua de Isla Santay.....	21
<b>Gráfica 3.</b> Concentración de Pb en muestra de agua de Isla Santay.....	22
<b>Gráfica 4.</b> Valores de remoción de Pb a 25 g de pulverizado .....	23
<b>Gráfica 5.</b> Valores de remoción de Pb a 50 g de pulverizado. ....	23
<b>Gráfica 6.</b> Valores de remoción de Cr a 25 g de pulverizado.....	24
<b>Gráfica 7.</b> Valores de remoción de Cr a 50 g de pulverizado.....	25
<b>Gráfica 8.</b> Comparativa entre los valores de remoción de Pb a 25 g de pulverizado. ....	26
<b>Gráfica 9.</b> Comparativa entre los valores de remoción de Pb y Cr a 50 g de pulverizado .....	26

### **Índice de anexos**

<b>Anexo 1.</b> Muestreo de agua en Isla Santay .....	35
<b>Anexo 2.</b> Almacenado de muestras obtenidas en 4 puntos .....	35
<b>Anexo 3.</b> Toma de parámetros fisicoquímicos .....	35
<b>Anexo 4.</b> Digestión química abierta de muestra líquida .....	36
<b>Anexo 5.</b> Elaboración de la curva de calibración.....	36
<b>Anexo 6.</b> Curva de calibración de Cr y Pb.....	36
<b>Anexo 7.</b> Determinación de metales por medio de ICP-OES .....	37
<b>Anexo 8.</b> Limpieza de valva de Anadara tuberculosa .....	37
<b>Anexo 9.</b> Obtención del pulverizado de valva .....	37
<b>Anexo 10.</b> Aplicación del tratamiento de biosorción a partir de valva pulverizada .....	38

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Antecedentes

La contaminación ambiental, a nivel mundial, representa un problema importante para el ser humano desde hace mucho tiempo atrás, se conoce que esta es la causa de daños irreparables en el suelo, agua y aire (Domínguez, 2015). Varios estudios demuestran como causa más habitual la contaminación de origen humano, en esta se incluyen: uso de derivados de petróleo, residuos de envases no biodegradables, quema de basura, el uso excesivo de fertilizantes, descargas de efluentes, incorrecta manipulación de productos químicos. Así como, desechos de industrias y domésticos, también la eliminación de estos contaminantes, por último la actividad petrolera y minera (Sarmiento, 2013).

El porcentaje de contaminación del agua a nivel global se encuentra entre un 70%-75%, esto se debe a las actividades realizadas por el hombre en la superficie terrestre. El 90% de todos los contaminantes que se encuentran en los ríos pasan al mar y el porcentaje de la población ubicada en la costa es de un 70 a 80%, especialmente en las zonas urbanas, zonas donde se concentra la mayor cantidad de desechos y se depositan de forma directa en las aguas como ríos, mares, entre otros (Escobar, 2002).

La biosorción, se considera una técnica viable como método de eliminación de los metales pesados procedentes de los efluentes industriales (Cuizano et al., 2009). Esta técnica es utilizada en la relación de captación de metales pesados que lleva a cabo una biomasa viva o muerta, mediante diferentes mecanismos fisicoquímicos, un ejemplo de aquello es el intercambio iónico o adsorción. Consta de dos fases que son: fase sólida (biosorbente) y fase líquida (solvente) (Cardona Gutiérrez et al., 2013).

### 1.2 Problema

#### *1.2.1 Planteamiento del problema*

Los metales pesados se descargan a nivel mundial y en cantidades significativas en los ríos, que son procedentes de efluentes industriales, acumulándose en el agua lo ocasiona perturbación en las especies acuáticas, así como también la cadena alimenticia acuática, lo cual va a generar efectos graves, incluyendo incluida la mortalidad de las poblaciones de peces locales y especies marinas (Diagomanolin et al., 2004).

El Golfo de Guayaquil, al igual que muchos cuerpos acuíferos alrededor del mundo, está contaminado por metales pesados y otros contaminantes debido a las actividades humanas, esto se ha documentado en varios estudios y reportajes, incluyendo información sobre la contaminación estuarina, la polución de los ríos que alimentan al Golfo de Guayaquil (Navarrete-Forero et al., 2019) (Félix & Burneo, 2020).

El crecimiento por parte de la población, actividades mineras, la producción aumentada de desechos y residuos por parte de las industrias, los cuales son vertidos dentro de los cuerpos de agua aledaños son la principal causa de contaminación ambiental a nivel mundial (Alvarado Vélez, 2017).

La isla Santay es considerada como Área Nacional de recreación, lo cual incrementa la actividad económica por la llegada de turistas, asimismo es objeto de investigación por la gran variedad de flora y fauna que se encuentra en el lugar.

En 2010, la isla de Santay se incorporó al Sistema Nacional de Áreas Protegidas como "Área Recreativa Nacional", incrementando así el flujo de visitantes, lo que constituye una importante fuente de ingresos económicos para las 56 familias que habitan las viviendas de la ecoaldea.(Zambrano Moreira et al., 2019). La isla se encuentra en gran desventaja al verse amenazada por la contaminación que existe en el río Guayas por el crecimiento de la actividad industrial, la descarga de aguas residuales urbanas. En adición a la contaminación de pesticidas causada por la actividad agronómica y la suma de todas estas actividades conllevan a la acumulación de metales pesados. Estos aspectos representan un peligro para el ecosistema, haciendo énfasis en la vida acuática y la salud para el ser humano (Vargas Marcos, 2005).

Este estudio se concentra en determinar la presencia de metales pesados considerándolos como peligrosos al ponerse en contacto con en el medio ambiente, debido a su particularidad de bioacumulación en los organismos vivos y también por su toxicidad (Orozco et al., 2011). Se establece una propuesta para remover estos contaminantes considerando que el sitio de estudio puede verse comprometido con la pérdida de organismos acuáticos, entre los que se destaca la especie *Anadara tuberculosa*, la cual se considera una fuente económica principal de los pescadores. (IPIAP, 2011).

### ***1.2.3 Justificación e importancia***

Se considera que mantener los recursos acuíferos, sobre todo el agua dulce, es de gran importancia por las funciones que cumple en la naturaleza resaltando que sus

componentes sirven para realizar procesos evolutivos y mantener la vida (Yaset & Víctor, 2017).

La constitución del Ecuador en 2018, establece un trato preferencial en la defensa del agua, recursos hídricos y recursos naturales por su uso en la alimentación y para asegurar y mantener los ecosistemas.

La precipitación química, el intercambio iónico, procesos electroquímicos, extracciones orgánicas, adsorción, entre otras tecnologías, han sido utilizadas para realizar diferentes procesos de descontaminación del agua. Sin embargo, son evaluadas antes de iniciar un tratamiento debido a que cada una cubre diferentes requerimientos y difieren en simplicidad de operación, costos, posibilidad de recuperación de metales, selectividad, entre otros (Mejía, 2006).

El proceso de biosorción se ha presentado como una alternativa común y viable para la eliminación de metales pesados por medio de mecanismos fisicoquímicos tales como intercambio iónico y adsorción (Cañizares-Villanueva, 2000). Biosorbentes como residuos orgánicos pueden presentar ventajas como su reutilización y representan un nivel de costo más bajo en comparación a otros procesos tradicionales como el uso de carbón activado o intercambio iónico (Cardona Gutiérrez et al., 2013).

De esta manera se evidencia la importancia de efectuar un estudio para comprobar y aprovechar la efectividad del material de desecho de la cáscara pulverizada de *Anadara tuberculosa* como fuente de  $\text{CaCO}_3$  para la filtración y eliminación de metales pesados en muestras de agua a escala de laboratorio.

### **1.3 Ubicación**

El área de interés para el muestreo líquido se sitúa en la “Isla Santay” (2°13'60" S y 79°52'0" W).

La Isla Santay se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil – Ecuador, en la cuenca del río Guayas, abarca aproximadamente 40.000 Km<sup>2</sup>, es considerada uno de los humedales más grandes del Ecuador con 2000 hectáreas de terreno.

### **1.4 Pregunta de investigación**

¿Qué tan eficiente es el tratamiento de biosorción a partir de valva pulverizada en la captación de metales pesados en aguas contaminadas?

## **1.5 Objetivos**

### ***1.5.1 Objetivo general***

Determinar la capacidad filtradora de metales pesados (Cr y Pb) mediante la valva de *Anadara tuberculosa* para eliminación de contaminantes en muestras líquidas de la Isla Santay, Guayaquil, Ecuador.

### ***1.5.2 Objetivos específicos***

- Cuantificar el contenido de Cr y Pb en muestras líquidas de la Isla Santay mediante la técnica del ICP-OES.
- Implementar un tratamiento a escala de laboratorio a diferentes concentraciones de metales (Cr y Pb) con pesos variables de valva pulverizada para determinar la capacidad biosorbente.

## **1.6 Hipótesis**

### ***1.6.1 Hipótesis nula***

- El tratamiento de biosorción a partir de valva pulverizada de *Anadara tuberculosa* no logró remover concentraciones determinadas de Cr y Pb en muestras de agua a diferente pH.

### ***1.6.2 Hipótesis alternativa***

- El tratamiento de biosorción a partir de valva pulverizada de *Anadara tuberculosa* logro remover concentraciones determinadas de Cr y Pb en muestras de agua a diferente pH.



## Capítulo 2

### Marco teórico

#### 2.1. Contaminación ambiental

Según (Maldonado, 2009) se puede entender a la contaminación ambiental como un conjunto de factores, los cuales provocaran cambios no deseados en el ambiente, de manera física, química y biológica que puede tener lugar en el agua, en el aire o en el suelo y verse reflejado en la flora y la fauna. Esto tendrá una gran influencia en la salud, en las actividades humanas y en la supervivencia de cualquier organismo vivo en su ecosistema para determinar su deterioro y su desequilibrio (Vargas, 2005).

##### 2.1.1. Clasificación de contaminantes

Según (Bermúdez, 2010) los contaminantes se pueden clasificar de la siguiente manera:

*Tabla 1. Clasificación de contaminantes.*

Clasificación de contaminantes	Definición
No degradables	Contaminantes difíciles o imposibles de degradar por procesos naturales.
Persistentes	Sustancias introducidas en el ambiente y que toman mucho tiempo, incluso décadas para que sean degradadas.
No persistentes	Este tipo de contaminantes se descomponen en su totalidad o pueden ser reducidos por procesos químicos, físicos y biológicos.
Biodegradables	Aquellos contaminantes químicos que logran descomponerse o metabolizarse, en compuestos químicos más sencillos gracias a la acción enzimática de organismos vivos como, por ejemplo, las bacterias.

Fuente: Modificada de (Bermúdez, 2010).

Elaborada por: (Franco y Briones, 2023)

### ***2.1.2. Contaminación del agua***

La contaminación se da por la acumulación de diversas sustancias tóxicas y derrames de fluidos en cualquier sistema hídrico como el mar, río, cuencas, entre otros, los cuales impiden su uso de manera natural. Cuando se da una modificación del agua por causa de cualquier sustancia tóxica que genere contaminación, la calidad del agua resulta peligrosa para el consumo humano, para las especies marinas y para prácticas como la agricultura y la pesca, entre otras actividades (Tejada-Tovar et al., 2015)

## **2.2. Metales pesados**

Los metales pesados son catalogados como elementos químicos que tienen un alto nivel de toxicidad y una densidad elevada. En la naturaleza se encuentran en la corteza terrestre y estos pueden ser nocivos incluso en concentraciones muy bajas (Lucho-Constantino et al., 2005).

Las actividades antropogénicas son las principales responsables de la contaminación por metales pesados, entre ellas se menciona casi todas las actividades que se realizan de manera industrial como, por ejemplo, la fundición de metales, la industria petrolera como productora de combustibles, la minería, entre otras (Bautista, 1999).

Existen algunos elementos que se encuentran enlistados como “metales pesados” ya que tienen una gravedad mayor a cinco con excepciones. Estos se dividen según su función biológica en dos grupos que son: Oligoelementos y metales pesados (Chávez, 2011).

Los oligoelementos o micronutrientes, son aquellos que han sido requeridos en pequeñas cantidades o también llamadas cantidades traza por diferentes especies de animales y plantas. Cuando aquellos ya completan su ciclo, no presentan ningún problema, pero cuando estos pasan de cierto umbral, se vuelven tóxicos como el As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Mn, Se, Zn, entre otros (Chávez, 2011)

### ***2.2.1. El elemento Cr y sus efectos***

El Cr es un metal de color gris, resistente ante la corrosión y brillante. Se presenta en algunos componentes, en sus diferentes estados que son 3: Cr+2, Cr+3, Cr+6 y tiene cabida en aplicaciones industriales como son, la elaboración de pigmentos, aditivos en industria peletera y de plásticos (Tenorio, 2006).

Como la gran mayoría de los metales, este metal llega al agua a través de su vertido a los ríos, por combustión a través del aire y como consecuencia después por las lluvias (aconsa, 2022).

La contaminación por Cr ocurre debido a su amplio uso dentro de las industrias de metalurgia, galvanizado y pigmentación de cueros. Su toxicidad depende de su estado de oxidación y su concentración puesto que este metal puede estar presente en 3 formas principales como es el Cr (0), Cr (III) y Cr (VI), de manera que la eliminación del Cr (VI) presente en los sistemas de agua es de particular importancia, ya que es un carcinógeno reconocido (Pinzón, 2005). La ingesta elevada de Cr puede ocasionar afecciones como cáncer, problemas gastrointestinales, anemia, etc. (ASTDR, 2017).

### ***2.2.2. El elemento Pb y sus efectos***

Es un metal suave, su color va de azul a grisáceo, se lo puede encontrar de manera natural en combinación con otros elementos y se encuentra de manera orgánica como también de manera inorgánica (A Poma, 2013). El Pb en su forma inorgánica se lo puede encontrar en el suelo, también en los gases que produce la combustión por la gasolina con Pb, que también contribuyen a la contaminación ambiental con Pb (Molina et al., 2010). Según estudios se ha determinado que el Pb inorgánico se encuentra en contextos ocupacionales y también que su toxicidad es aún mayor que la de la exposición al Pb orgánico, puesto a que su absorción en el cuerpo humano se da de una manera más rápida y fácil (Poma, 2008).

De acuerdo a la investigación realizada por (Polo Bravo & Sulca Quispe, 2019). Tanto el Pb como sus compuestos pueden ingresar en el entorno durante actividades de minería, fundición, procesado, aprovechamiento, reciclado o en forma de desechos resultantes de la incineración de combustibles. La principal forma de exposición de los adultos no fumadores es a través de los alimentos y el consumo de agua. Los productos alimenticios, el aire, el suministro de agua, el polvo y el suelo son las mayores vías potenciales de exposición de los lactantes y los grupos de edad más jóvenes (ATSDR, 2017).

El Pb se lo encuentra de manera común en tuberías, pesas, proyectiles, baterías para vehículos y revestimientos de cables, actividades como las fundiciones, minería, entre otras (Rodríguez Rey et al., 2016).

Las vías de entrada del Pb al organismo son consumo de bebidas y alimentos que hayan sido contaminados y la inhalación de vapores de Pb que estén presentes en la atmósfera (Dunia & Heredia, 2017)

Después de la ingestión, el porcentaje de absorción del Pb puede variar entre 3% - 80%. Esta absorción también tiene relación con la edad, desde el 10% al 50% puede darse la absorción en adultos y niños, respectivamente (Valdivia Infantas, 2005). Una vez que ha sido absorbido y distribuido en la sangre, pasa a distribuirse en los tejidos blandos y se acumula en el esqueleto gran parte de la vida humana el cual sirve como una fuente endógena de Pb. El Pb inorgánico no se va a metabolizar y será excretado a través del hígado (Polo Bravo & Sulca Quispe, 2019).

## **2.3. Métodos convencionales para eliminación de metales pesados**

### ***2.3.1. Principales tratamientos de agua para eliminar metales pesados***

Existen diferentes procesos que pueden proporcionar una remediación de agua contaminada de una manera rápida, pero se los cataloga como procesos temporales, ya que a largo plazo pueden producir efectos secundarios y así generar otros peligros, es por eso que se debe garantizar el uso de productos químicos que sean seguros para el medio ambiente en determinados procesos como la precipitación (Sarria-Villa et al., 2020).

#### **a) Precipitación química**

Método en el cual se agrega productos químicos al agua como alumbre, cloruro ferroso y cal, para producir la formación de precipitados que son insolubles con los iones de metales, su desventaja es que sus mantenimientos suelen ser costosos por la generación de lodo (Chen et al., 2009).

#### **b) Intercambio iónico**

Es un proceso en el que los iones en solución van a ser transferidos a una matriz sólida y al mismo tiempo se liberan otro tipo de iones, pero de la misma carga. Consiste en una separación que no permite la modificación química de los iones que han sido intercambiados (Zewail & Yousef, 2015).

#### **c) Adsorción con carbón activado**

El carbón activado ha sido uno de los más usados para el tratamiento de aguas. Este logra su efecto en el agua, únicamente por medio de un proceso llamado adsorción o remoción selectiva de ciertas sustancias de cualquier solución (Medina et al., 2008). Su mecanismo de acción comienza con el uso de una resina con grupos funcionales que

presentan una elevada afinidad por iones de los metales y así intercambiarlos con iones que no produzcan mayor daño (iones de sodio o iones de nitrógeno). Su ventaja es que se puede usar una solución que contenga altas concentraciones de iones pesados puede ser lavada la resina y esta se volverá a regenerar.

#### **d) Fitorremediación**

Esta técnica permite el uso de plantas para la remoción o eliminación de contaminantes, tales como los metales pesados que se encuentran en el suelo, el aire y el agua, aparte de que ha sido demostrada como una de las alternativas más sustentables para la remediación de aguas contaminadas, dado que aprovecha la capacidad de las plantas para transformar/filtrar los contaminantes, usándola así en distintos sitios donde exista una posible contaminación, como las zonas industriales, zonas agrícolas y vertederos (Anawar et al., 2008).

El crecimiento de ciertos microorganismos desempeña un rol importante en la remoción de contaminantes de origen orgánico e inorgánico de aguas contaminadas y de aguas residuales (Anawar & Chowdhury, 2020).

### **2.4. Biosorción**

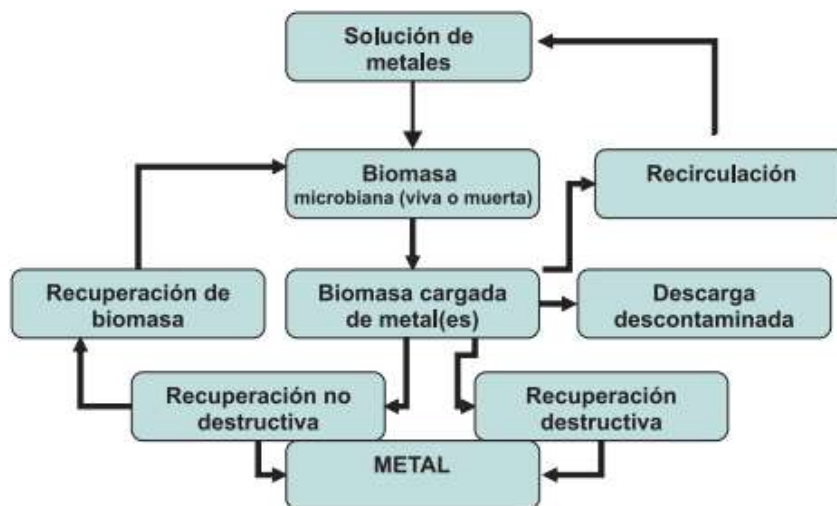
La biosorción es un proceso de tipo fisicoquímico en el que intervienen algunos mecanismos de intercambio iónico, adsorción, absorción y precipitación (Cuizano et al., 2009).

El proceso de biosorción se da por medio de una fase sólida, que se trata del biosorbente y una fase líquida, que se trata del solvente y que, en la mayoría de los casos, es el agua porque es ahí donde se encuentran los metales que serán absorbidos (Mejía, 2006).

Este proceso utiliza microorganismos como bacterias, hongos, algas y biomasa agrícola o también desechos industriales para la sorción de metales pesados, por esto, es catalogado como un método importante para la industria porque representa un bajo costo, además de ser eficiente, tiene capacidad de regeneración y el uso de productos químicos es mínimo comparado con otras tecnologías (Naja & Volesky, 2011).

El proceso de biosorción debe ser un proceso continuo hasta que se mantiene el equilibrio entre el sorbato disuelto y el sorbato biosorbido, la calidad del biosorbente, así como también el tipo que puede ser biomasa viva o muerta, dependen de la cantidad de sorbato que podrá atraer y retener en un tiempo establecido (Mejía, 2006).

En la biotecnología se aplican procesos de descontaminación de agua por metales pesados, en los que los microorganismos que actuarán como biosorbentes, se pondrán en contacto con el agua contaminada y luego de que la biomasa ha removido los iones metálicos del agua, se tendrá la opción de recuperación de biomasa viva y se podría introducir en un ciclo nuevo de biorrecuperación o biorremediación en donde se puede utilizar químicos suaves para disminuir el pH y poder retirar los metales sin que las células bacterianas se destruyan y también en caso de la biomasa no represente gran importancia o ya sea por trabajo con una biomasa muerta, los metales ya se podrían retirar por otros métodos drásticos como por ejemplo, la incineración (Mejía, 2006).



**Figura 1.** Principios del proceso de biosorción de metales pesados de agua contaminada por el uso de microorganismos.

#### **2.4.1. Factores que pueden afectar el proceso de biosorción**

Estos factores, a continuación, son aquellos que pueden influir en la eficiencia y la cinética de biosorción de metales pesados, también es importante comprender los efectos que tienen y así poder optimizar cada técnica de biosorción para realizar remediación o tratamiento de aguas residuales (Kratochvil & Volesky, 1998).

- **pH**

La absorción de metales pesados por la biomasa disminuirá al mismo tiempo en el que disminuye el pH, pues bien, algunos metales pesados precipitan a un pH superior a 5,5, además el pH óptimo para la absorción de metales va a diferir para cada ion, aniones y cationes tendrán diferentes patrones de sorción en la misma biomasa e igual rango de pH.

- **Concentración de biomasa**

La cantidad de biomasa es un factor importante que puede afectar la eficiencia del proceso, por ejemplo, cuando se utiliza una gran cantidad del biosorbente, si hay una deficiencia de metal para cubrir los sitios intercambiables disponibles, puede resultar en una baja absorción del metal.

- **Temperatura**

Las reacciones del intercambio iónico y de absorción son exotérmicas, por lo que, al aumentar la temperatura, la velocidad de la reacción también va a aumentar, pero al someterse a temperaturas muy elevadas, se pueden dañar las paredes celulares y afectar la efectividad de la biosorción. Gran parte del proceso de absorción del metal aumenta al elevar la temperatura (4 a 13°C).

- **Tiempo de contacto**

La adsorción ocurre de manera rápida en la superficie externa del biosorbente, luego pasa de forma lenta a un proceso de difusión interna. Después de cierto tiempo de contacto, se alcanza el equilibrio y la cantidad de metal que es adsorbido, no presenta más cambios con el tiempo.

## **2.5. Biosorbentes**

Los biosorbentes son materiales de origen natural o modificados, que tienen la capacidad para unión y retención de iones metálicos que están presentes en el agua. Sus propiedades permiten la interacción con metales pesados en forma de grupos funcionales en la superficie que les permite la formación de enlaces químicos con los iones metálicos (Hussain et al., 2021).

### ***2.5.1. Biosorbentes utilizados como sustratos***

Entre los materiales que han sido utilizados y más destacados se encuentran: Carbón, cáscara de coco, madera, arcilla, quitosano (derivados de residuos o desechos de la industria pesquera), residuos de remolacha azucarera, residuos de frutas, residuos de la industria del olivo, como el hueso de oliva y cáscara de piñón, biomasa de algas marinas (*Chlorella vulgaris*, *Ulva lactuca* y *Spirulina platensis*) y microorganismos como hongos (*Penicillium chrysogenum*, *Aspergillus niger* y *Trichoderma viride*), levaduras y bacterias (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* y *Bacillus subtilis* (Naja & Volesky, 2011),

biomasa no viva (residuos de actividades agroindustriales, cáscara de crustáceos), cáscara de nueces, escamas de pescado, entre otros.

### 2.5.2. *CaCO<sub>3</sub> como tratamiento*

El carbonato de calcio es un componente que se cataloga como principal de las calizas, las rocas deben tener, como mínimo 98,5% de CaCO<sub>3</sub> y esto se usa tanto de manera industrial como de manera comercial. Este es un componente que predomina en las conchas, de diversos organismos marinos e incluso de la cascara de huevo.

## 2.6. *Anadara tuberculosa*

*Anadara tuberculosa* es una especie de molusco bivalvo perteneciente a la familia Arcidae, se conoce como concha prieta y se encuentra a lo largo de las costas del Océano Pacífico oriental, desde Baja California hasta el norte de Perú. (Sorrosa Ochoa et al., 2018).

### 2.6.1. *Taxonomía de Anadara tuberculosa*

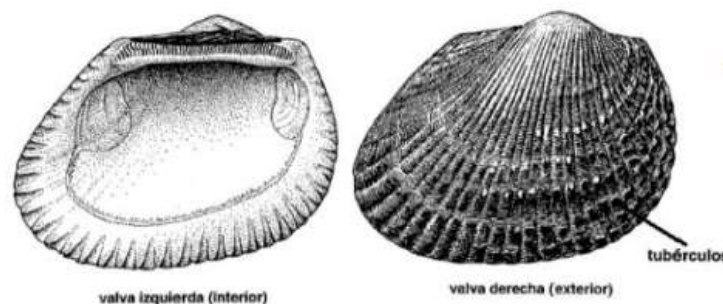
**Tabla 2.** *Taxonomía de Anadara tuberculosa.*

<i>Categoría</i>	
<b>Reino</b>	Animalia
<b>Filo</b>	Mollusca
<b>Clase</b>	Bivalvia
<b>Orden</b>	Arcida
<b>Familia</b>	Arcidae
<b>Género</b>	Anadara
<b>Nombre científico</b>	<i>Anadara tuberculosa</i>

**Elaborado por:** (Franco y Briones, 2023)

**Fuente:** (Prado-Carpio et al., 2020)

### 2.6.2. *Características de la especie*



**Figura 2.** *Valva izquierda y derecha con las caras anterior y posterior.*



Color blanco, cubierta por un periostraco piloso que va desde una coloración café oscuro hasta un color negro (Brito y Mora, 2016).

Es una concha de tamaño grande y con una longitud de 30 a 70 mm, de diámetro tiene de 27 a 48 mm, también puede darse casos en los que el diámetro puede llegar a 110 mm, equivalva, gruesa y de forma ovalada. Presenta nódulos o tubérculos que se encuentran sobre las costillas sobre su margen anterior, su periostraco es grueso, arrugado dejando en descubierto la concha blanca, tiene una charnela larga, delgada y bastante recta (Mite, 2009).

Presenta bordes internos que tienen fuertes crenulaciones los cuales corresponden a las costillas externas (Instituto público de investigación de acuicultura y pesca, 2018).

Asimismo, desempeña un papel importante en la ecología de los ecosistemas de manglares puesto que actúa como filtro alimentador y ayuda a mantener la calidad del agua en estos frágiles entornos. No obstante, la creciente contaminación de los cuerpos de agua por metales pesados, representa un problema para la salud humana debido a los efectos nocivos que tienen los contaminantes acumulados en los tejidos del molusco (Manuel Corrales Venegas, 2015).

### ***2.6.3 Distribución geográfica de la especie.***



***Figura 3. Distribución de Anadara tuberculosa en el mapa.***

Fuente: (Vega et al., 2021)

La especie se distribuye desde la laguna de las ballenas en Baja California hasta Tumbes, Perú. En el Ecuador, *Anadara tuberculosa* se encuentra distribuida por el perfil costero que va desde la provincia de Esmeraldas hasta el Golfo de Guayaquil (Vega et al., 2021).

## **2.7. Componentes de la concha de los moluscos**

Las conchas están compuestas por carbonato de calcio (99%) y materia orgánica (1%) (Paz et al., 2005).

Los moluscos presentan una estructura llamada periostaco, esta se forma por la segregación de tiroxina y su función es delimitar el espacio en el que se formará la concha, además es ahí donde se encuentran las proteínas, carbonato de calcio y polisacáridos (Bottjer & Carter, 1980).

La concha posee varias capas que están formadas por polimorfos de carbonato de calcio, como aragonita, calcita o nácar, aunque la capa externa en algunos moluscos, no está calcificada, solo se forma por compuesto orgánicos (Checa & Harper, 2010).

Según (Rivera Pérez & Saavedra, 2020) menciona que las proteínas de la matriz son sintetizadas en diferentes regiones del manto de ciertos moluscos, en la parte externa del manto se asocia con la formación de calcita y en la parte interna se forma la aragonita.

## Capítulo 3

### Materiales y métodos

#### 3.1 Marco metodológico.

##### 3.1.1 Nivel de investigación.

La investigación realizada posee un nivel exploratorio y descriptivo, ya que se interpretaron los resultados obtenidos con diferentes técnicas de laboratorio.

- **Exploratorio:** Se buscó una alternativa de biosorbente a partir de residuos animales que pueden ser reutilizados en beneficio del medioambiente.
- **Descriptivo:** Se determinó la efectividad del tratamiento de remoción de metales pesados (Cr y Pb) a partir de pulverizado de valva de *Anadara tuberculosa*.

##### 3.1.2 Diseño experimental.

La experimentación se llevó a cabo por medio de la implementación de un tratamiento por duplicado de biosorción a partir de pulverizado de valva de *Anadara tuberculosa* con la finalidad de determinar el porcentaje de remoción de Cr y Pb.

##### 3.1.3 Población y muestra.

- **Población:** Las valvas de *Anadara tuberculosa* como fuente del biosorbente carbonato de Ca.
- **Muestra:** La muestra de estudio son aguas contaminadas con Cr y Pb a 10 y 15 ppm.

##### 3.1.4 Variables.

- **Variable dependiente:** La variable dependiente hace referencia a los valores de concentración de metales pesados.
- **Variable independiente:** La variable independiente hace referencia a los pesos de valva pulverizada y los niveles de pH.

### 3.2 Metodología de muestreo.

#### 3.2.1 Área de estudio.

El procedimiento se realizó en el brazo de agua cercano a la Isla Santay, donde se tomaron las muestras líquidas con la finalidad de evaluar la concentración de Pb y Cr debido a la presencia de lanchas pesqueras y turísticas como fuente de contaminación. Se tomó en consideración tres puntos cercanos a la Isla Santay y un punto en el mercado de la Caraguay.



**Figura 4.** Ubicación por Google maps de los puntos de muestreo.

#### 3.2.2 Recolección de muestras líquidas y toma de datos *in situ*.

La recolección de las muestras líquidas se realizó basado en la normativa INEN – 2176 (INEN, 1998), en tres puntos específicos adyacentes a la Isla Santay y un único punto al sur de la ciudad de Guayaquil en el mercado de la Caraguay con la finalidad de llevar a cabo la determinación de metales pesados.

En cada punto de muestreo se midió el nivel de pH por triplicado a nivel superficial con un equipo multiparámetros portátil.

#### 3.2.3 Toma de parámetros fisicoquímicos *ex situ*.

Se llevó a cabo la toma de datos de parámetros fisicoquímicos de las muestras obtenidas dentro de los laboratorios. Se tomaron datos por triplicado de pH, conductividad y sólidos totales disueltos (TDS) en base a la normativa EPA 120.1; 150.1 (EPA, 1971) (EPA, 1982).

### **3.3 Determinación de Cr y Pb en muestras líquidas**

#### ***3.3.1 Digestión química abierta de muestras líquidas***

Se llevó a cabo una digestión química abierta por medio de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) concentrado libre de metales basado en la investigación realizada por (Consuelo Moreno-Bonett et al., 2012) con bases en la normativa NMX-AA-051-SCFI-2001 y Normativa EPA SW-846 Test Method 3010A (EPA, 2018).

Dentro del procedimiento se consideró tomar una alícuota de 100 mL, la cual fue colocada en un vaso de precipitación de 150 mL, luego se le añadió 3 mL de HNO<sub>3</sub> concentrado y se lo colocó sobre una plancha de calentamiento hasta reducir a un volumen aproximado de 5 mL al que se le añadió 3 mL de HNO<sub>3</sub> para obtener una muestra libre de toda materia orgánica, se filtró al vacío con papel Whatman y se aforó con agua tipo 1.

#### ***3.3.2 Curva de calibración***

Se realizó la calibración del equipo con la preparación de soluciones stock multiparámetros que servirán para calibrar el equipo, las cuales deben de contener los elementos: Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn.

Se utilizó la siguiente ecuación para calcular el volumen de solución madre de concentración conocida necesario para obtener la concentración deseada:

$$C1 V1 = C2 V2$$

Donde:

C1 = patrón madre de concentración conocida

V1 = volumen de patrón madre de concentración conocida necesario para obtener la concentración deseada

C2 = concentración deseada

V2 = volumen final

#### ***3.3.3 Determinación de Cr y Pb mediante ICP-OES***

La metodología usada para la determinación de metales Cr y Pb por espectrometría de emisión óptica de plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES) se basó en la normativa EPASW-846 Test Method 6010D (EPA, 2018). con ayuda de un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma de acoplamiento inductivo Thermo Scientific, modelo ICAP 7400 DUO, de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento del instrumento. El ICP-OES cuenta con un monocromador y un detector que se encargan de emitir y receptor las señales proporcionadas por el equipo.

Sin embargo, debemos de tomar en cuenta los respectivos parámetros de funcionamiento del equipo, como son:

- Potencia del plasma.
- Flujo de gas argón.
- Flujo de gas nitrógeno.
- Longitud de onda de los elementos de interés.

### **3.4 Recolección de materia prima**

La colecta de las valvas de *Anadara tuberculosa* se realizó al sur de la ciudad de Guayaquil en el mercado de la Caraguay, las valvas se encontraban en un estado fresco puesto que eran consideradas un desecho por parte de los comerciantes.

### **3.5 Obtención de pulverizado de valva de *Anadara tuberculosa***

Basado en la metodología propuesta por (Weerasooriyagedra y Kumar, 2018) para el tratamiento de la valva, se realizaron los siguientes procedimientos.

#### ***3.5.1 Limpieza de valva de *Anadara tuberculosa****

Las valvas recogidas se lavaron con agua potable, luego se expusieron al sol de ocho a diez horas y se eliminó el sedimento adherido a la valva con cepillos de acero.

#### ***3.5.2 Tratamiento ácido y base***

Se sometió las valvas a un lavado con una solución de ácido muriático comercial para eliminar rastros de materia biológica restante en la valva.

Se realizó un lavado con una solución de hidróxido de sodio comercial para blanqueamiento de la valva.

#### ***3.5.3 Molienda y pulverizado de valva***

Se trituraron las valvas con un mortero para obtener trozos medianos que luego se machacaron con la ayuda de una máquina de abrasión HUMBOLDT H-3860D.2F.

#### ***3.5.4 Tamizado y pesado del pulverizado***

El pulverizado de valva de *Anadara tuberculosa* se lo sometió a un tamizado por medio de un juego de tamiz de 4,75 mm, 600  $\mu$ m y 300  $\mu$ m con la ayuda de una tamizadora MAQUISUELOS MQT-2 y se pesó con una balanza de presión RADWAG WLC 20/A2.

### **3.6 Implementación del tratamiento de biosorción a partir de pulverizado de valva**

De acuerdo con la investigación desarrollada por (Tamjidi & Ameri, 2020a) y modificada por los autores, se desarrolló el siguiente procedimiento:

#### ***3.6.1 Preparación y estabilización de pH (7 y 10) en soluciones de 10 y 15 ppm de Cr y Pb***

Se realizó la preparación de soluciones donde se utilizó 300 mL de agua tipo 1 y se le añadió sales que contienen Pb y Cr para llegar a la concentración deseada. La fórmula utilizada fue la misma aplicada en la preparación de estándares para la curva de calibración.

Se sometió las muestras de agua a una estabilización e incremento del nivel de pH con una solución de NaOH con la finalidad de aumentar la alcalinidad de la muestra y demostrar los efectos que tiene el pH en la biosorción.

#### ***3.6.2 Aplicación de tratamiento a partir de pulverizado de valva de *Anadara tuberculosa****

Se pesó en una balanza analítica Sartorius ENTRIS224-1S el pulverizado de la valva y se lo distribuyó en cada vaso de precipitación para aplicarlo con la muestra de agua contaminada a diferente pH a 300 rpm en plancha agitadora.

## Capítulo 4

### Resultados y discusiones

#### 4.1 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

*Tabla 3. Coordenadas de puntos de muestreo.*

N° de muestreo	Punto de referencia	Coordenadas
1	Muelle de aldea	2°13'41"S 79°52'17"W
2	Entrada a cocodrilera	2°13'48"S 79°52'08"W
3	Cercanía de Escuela	2°13'31"S 79°52'25"W
4	Mercado de la Caraguay	2°13'36"S 79°53'09"W

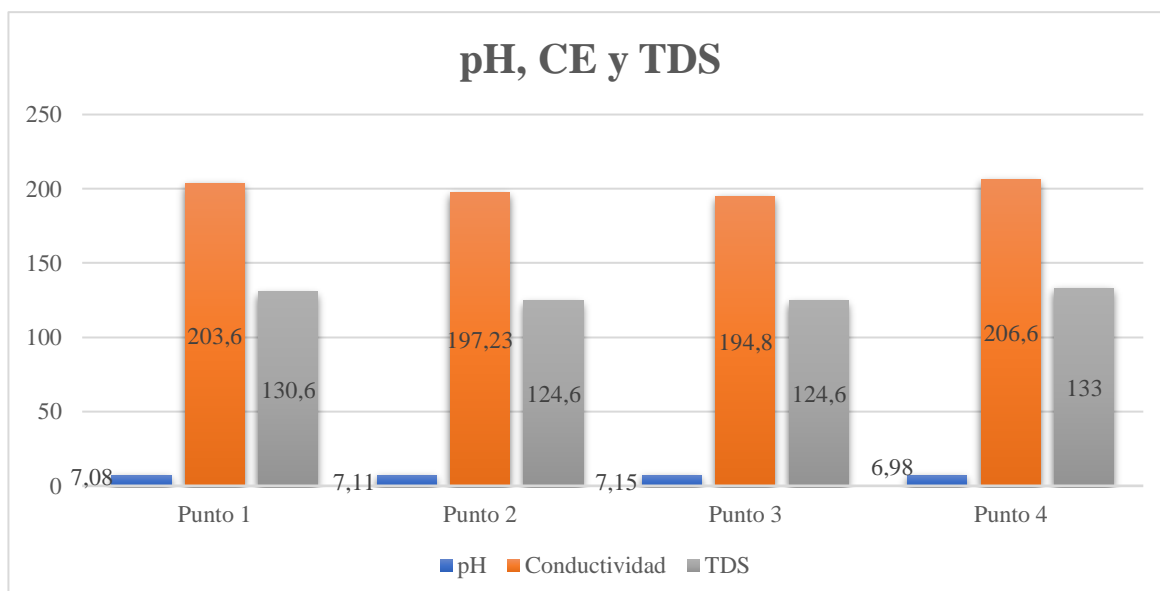
#### 4.2 Datos de parámetros fisicoquímicos en muestra líquida de Isla Santay

##### 4.2.1 Nivel de pH, CE (pS/cm) y sólidos totales Disueltos (ppm)

*Tabla 4. Valores obtenidos en puntos de muestreo*

Referencia	pH	CE	TDS
Punto 1	7.08	203.6	130.6
Punto 2	7.11	197.23	124.6
Punto 3	7.15	194.8	124.6
Punto 4	6.98	206.6	133

*Gráfica 1. Valores de parámetros fisicoquímicos en muestra de agua de Isla Santay*





Elaborado por: (Franco y Briones, 2023)

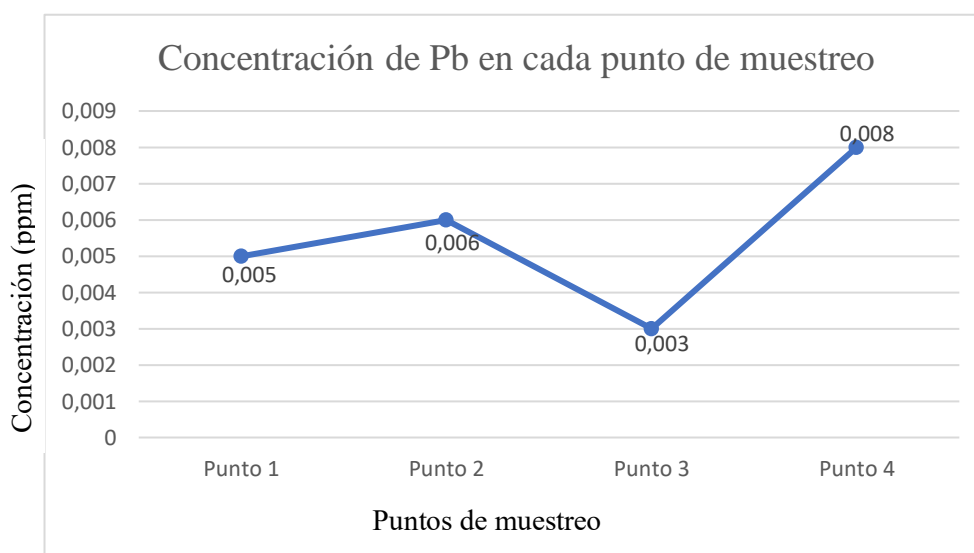
Los valores obtenidos de pH, conductividad y TDS durante la experimentación con muestras de agua proveniente de la Isla Santay, se encuentran dentro del límite permisible por diversos organismos internacionales OMS y EPA. Cabe recalcar que estudios realizados por Tamjidi y Ameri, 2020, mencionan que el parámetro más importante en el proceso de adsorción es el pH, puesto que está directamente relacionado con la competencia de los iones de hidrógeno con los iones metálicos en los sitios activos de la superficie del biosorbente. Sari y Tuzen, 2009 en su investigación realizada con biomasa de *Amanita rubescens* utilizaron un pH de 5, el cual fue óptimo para la remoción de Pb en un 98%.

#### 4.3 Concentración de Cr y Pb en 4 puntos de muestreo

*Tabla 5. Concentración de Pb en puntos de muestreo*

Referencia	Concentración de Pb (ppm)			Promedio
Punto 1	0.006	0.004	0.007	0.005
Punto 2	0.007	0.005	0.008	0.006
Punto 3	0.004	0.001	0.005	0.003
Punto 4	0.008	0.009	0.007	0.008

*Gráfica 2. Concentración de Pb en muestra de agua de Isla Santay.*

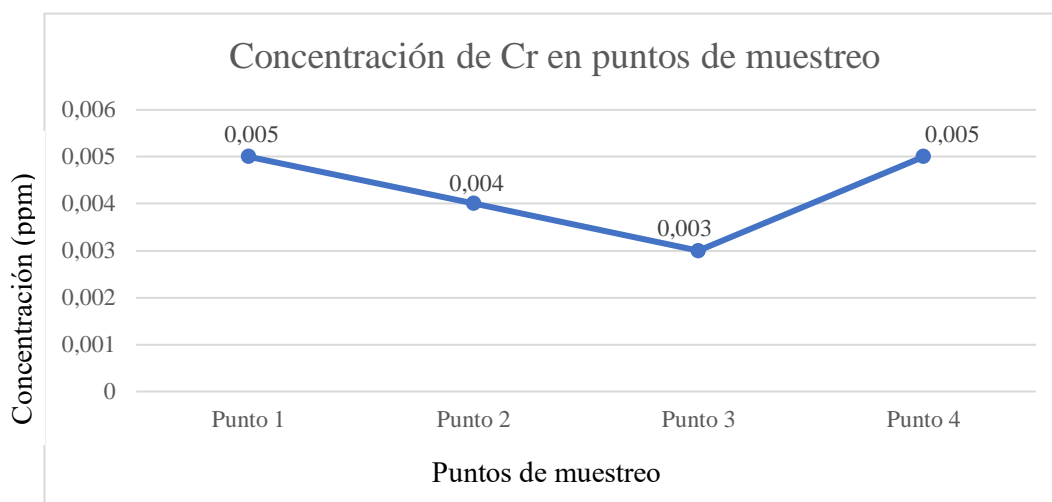


Elaborado por: (Franco y Briones, 2023)

**Tabla 6.** Concentración de Cr en puntos de muestreo.

Referencia	Concentración de Cr (ppm)			Promedio
Punto 1	0.006	0.004	0.007	0.005
Punto 2	0.004	0.005	0.003	0.004
Punto 3	0.005	0.003	0.001	0.003
Punto 4	0.004	0.006	0.005	0.005

**Gráfica 3.** Concentración de Pb en muestra de agua de Isla Santay.



Elaborado por: (Franco y Briones, 2023)

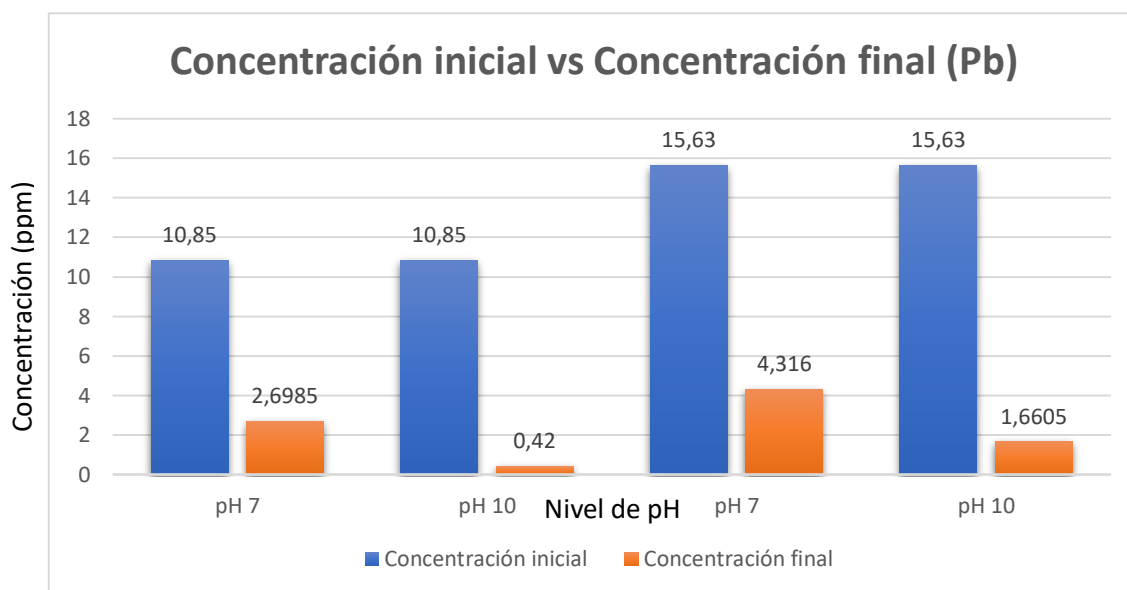
Los valores resultantes en muestras de agua natural de la Isla Santay, fueron mínimos, esto se debe al caudal que tiene el río Guayas, los organismos presentes en el agua y el nivel de pH que produce disponibilidad de los contaminantes de modo que aquellos organismos filtradores puedan captar los metales y existan.

#### 4.4 Resultados de tratamiento de biosorción

**Tabla 7.** Tratamiento de biosorción de Pb con 25 g pulverizado

Pulverizado de valva 25 g			
pH	Concentración inicial ppm de Pb	Concentración final ppm de Pb	Porcentaje de remoción
7	10,85	2,69	75
10	10,85	0,42	96
7	15,63	4,31	72
10	15,63	1,66	89

**Gráfica 4. Valores de remoción de Pb a 25 g de pulverizado**



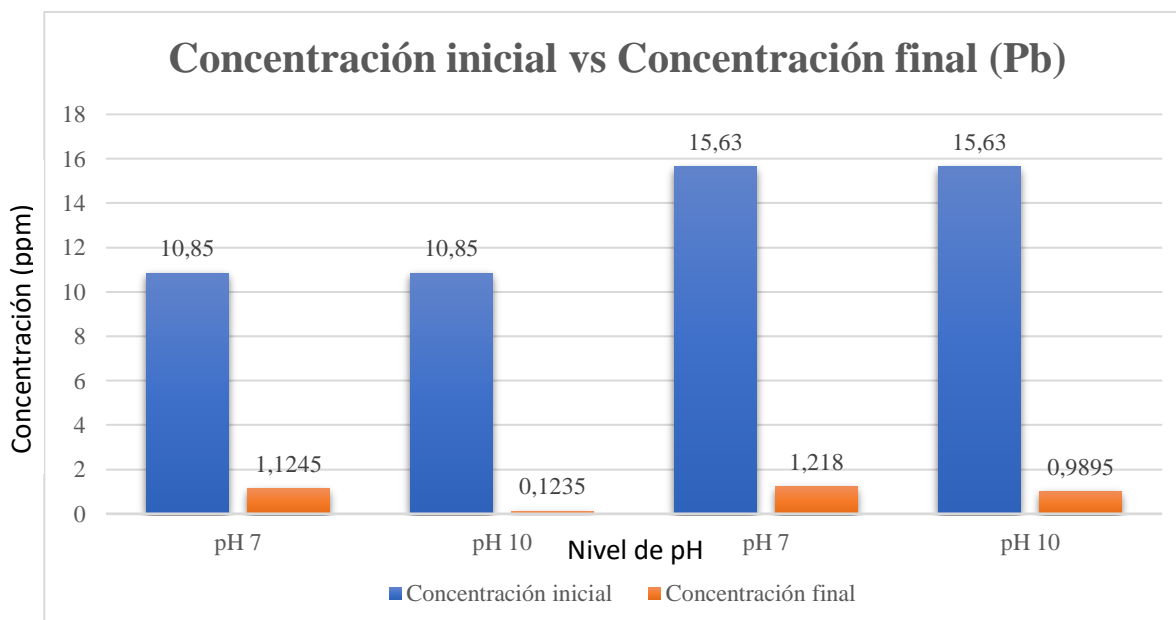
Elaborado por: (Franco y Briones, 2023)

**Tabla 8. Tratamiento de biosorción de Pb con 50 g pulverizado.**

**Pulverizado de valva 50 gr**

pH	Concentración inicial ppm de Pb	Concentración final ppm de Pb	Porcentaje de remoción
7	10,85	1,1245	90
10	10,85	0,1235	99
7	15,63	1,218	92
10	15,63	0,9895	94

**Gráfica 5. Valores de remoción de Pb a 50 g de pulverizado.**



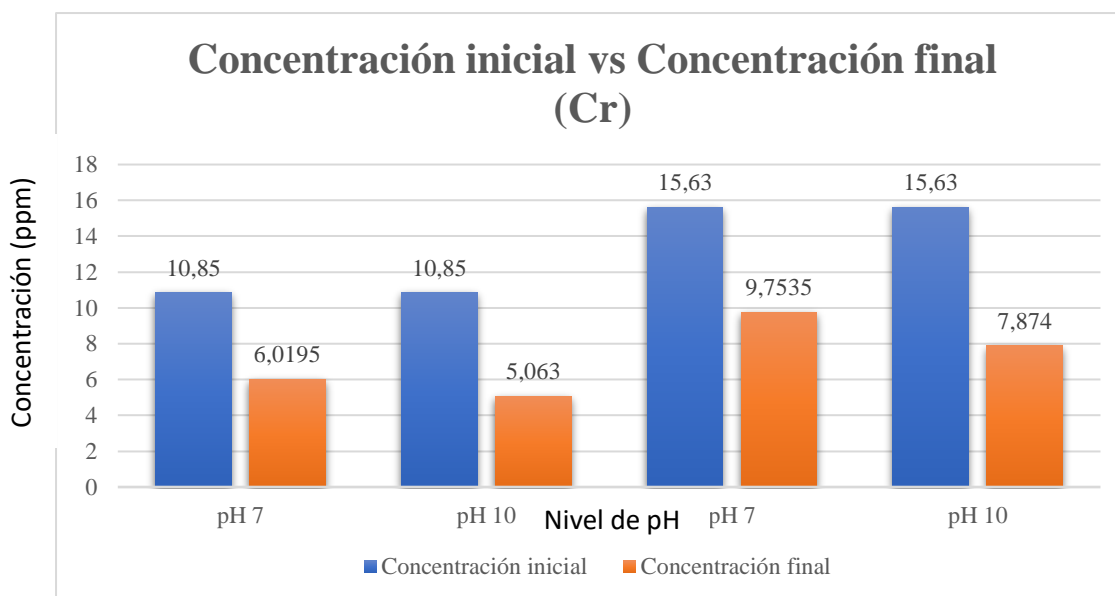
Elaborado por: (Franco y Briones, 2023)

En el estudio de (Mariela & Yantas, 2020) para determinar la adsorción de Pb con carbón activado a partir de las semillas de eucalipto, se afirma la remoción de Pb a un pH constante de 5, con un porcentaje de adsorción de 66.32%. Comparando el resultado obtenido, se evidencia la influencia del pH al momento de disminuir la concentración de Pb obteniendo como resultado un 99% de remoción.

**Tabla 9.** Tratamiento de biosorción de Pb con 25 g pulverizado

<b>Pulverizado de valva 25 gr</b>			
pH	Concentración inicial ppm de Cr	Concentración final ppm de Cr	Porcentaje de remoción
7	10,85	6,0195	45
10	10,85	5,063	53
7	15,63	9,7535	38
10	15,63	7,874	50

**Gráfica 6.** Valores de remoción de Cr a 25 g de pulverizado

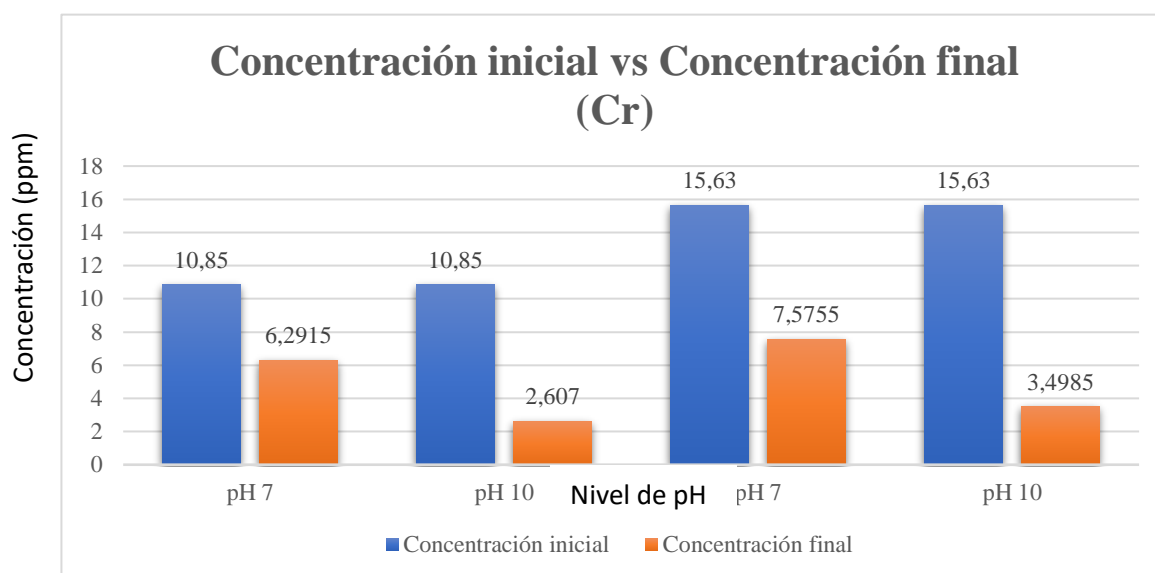


Elaborado por: (Franco y Briones, 2023)

**Tabla 10.** Tratamiento de biosorción de Pb con 50 g pulverizado.

<b>Pulverizado de valva 50 gr</b>			
pH	Concentración inicial ppm de Cr	Concentración final ppm de Cr	Porcentaje de remoción
7	10,85	6,2915	42
10	10,85	2,607	76
7	15,63	7,5755	52
10	15,63	3,4985	78

**Gráfica 7. Valores de remoción de Cr a 50 g de pulverizado.**



Elaborado por: (Franco y Briones, 2023)

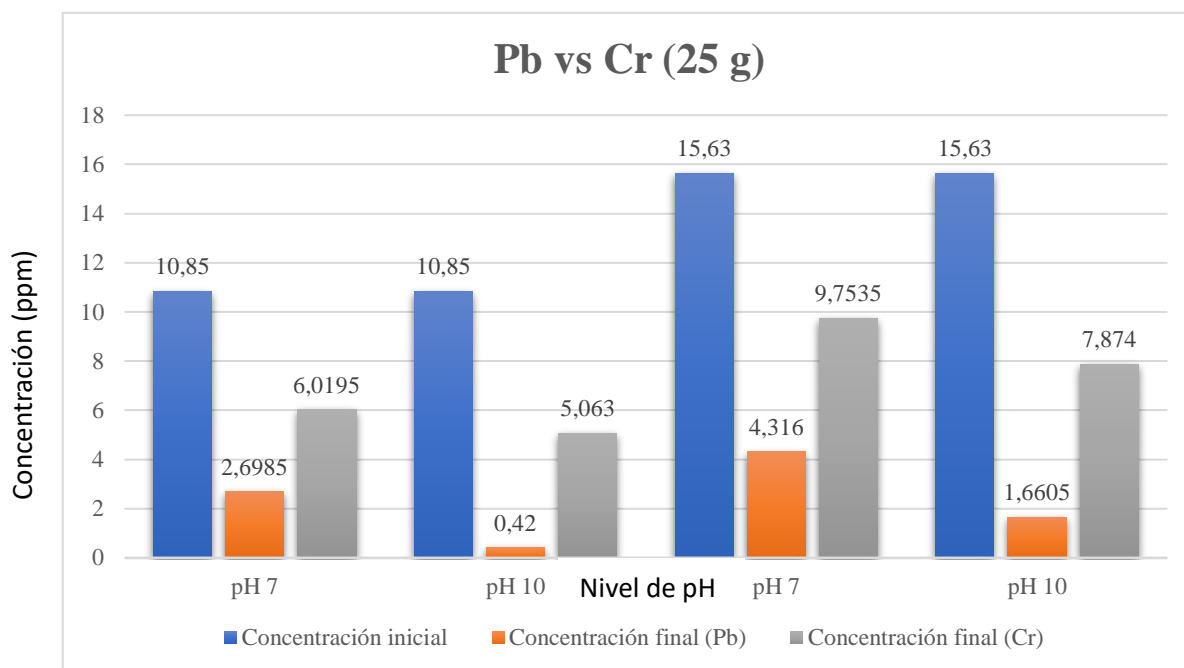
Observando los valores obtenidos postratamiento, se puede evidenciar un aproximado de remoción del 78% a un pH alcalino con respecto a un 42% de remoción a pH neutro, por lo que corroboramos que, en el Cr, la alcalinidad puede afectar en la biosorción del contaminante. Sin embargo, en los estudios realizados por Bistua et al., 2010 y Duarte et al., 2009, se realizaron experimentos donde se evidencia la influencia del pH con respecto al porcentaje de remoción de Cr con porcentajes 61,2 y 85 a niveles de pH con rangos de 2 a 5.

#### 4.5 Comparativa entre valores de remoción de Pb y Cr

**Tabla 11. Comparación en tratamiento de biosorción de Pb y Cr con 25 g pulverizado.**

Pulverizado de valva 25 g			
pH	Concentración inicial ppm	Concentración final ppm de Pb	Concentración final ppm de Cr
7	10,85	2,6985	6,0195
10	10,85	0,42	5,063
7	15,63	4,316	9,7535
10	15,63	1,6605	7,874

**Gráfica 8.** Comparativa entre los valores de remoción de Pb a 25 g de pulverizado.

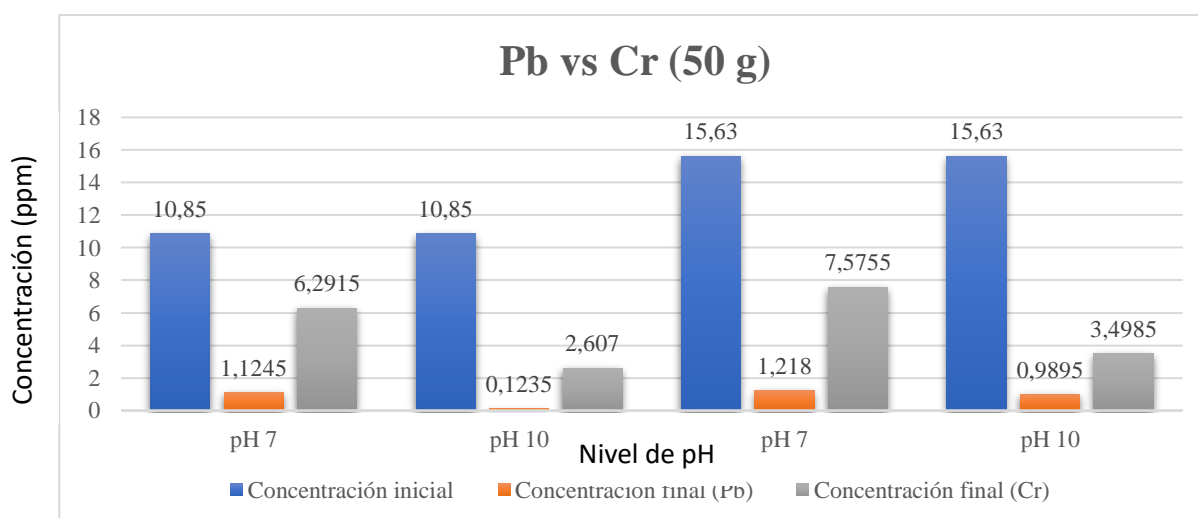


Elaborado por: (Franco y Briones, 2023)

**Tabla 12.** Comparación en tratamiento de biosorción de Pb y Cr con 50 g pulverizado.

Pulverizado de valva 50 g			
pH	Concentración inicial ppm	Concentración final ppm de Pb	Concentración final ppm de Cr
7	10,85	1,1245	6,2915
10	10,85	0,1235	2,607
7	15,63	1,218	7,5755
10	15,63	0,9895	3,4985

**Gráfica 9.** Comparativa entre los valores de remoción de Pb y Cr a 50 g de pulverizado



Luego de observar los gráficos obtenidos al momento de realizar la comparativa de los valores de remoción entre Pb y Cr, se puede determinar que la influencia del nivel de pH con respecto al peso del pulverizado de valva de *Anadara tuberculosa* ha sido significativa en la remoción del metal Pb, mientras que en el Cr se evidenció que la alcalinidad afecta al momento de realizar la biosorción.

## Capítulo 5

### Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

- Los resultados de concentración de Cr y Pb obtenidos en muestras de agua provenientes de la Isla Santay fueron mínimos lo que nos llevaría a pensar que la acumulación biológica por parte de organismos vivos como *Anadara tuberculosa* podría ser la que remueve los contaminantes. Adicional a ello, las precipitaciones podrían influir en la dilución de los metales presente en el ambiente acuático.
- Se concluye que el tratamiento de biosorción a partir del pulverizado de valva de *Anadara tuberculosa* puede llegar a disminuir las concentraciones de metal pesado en el agua, esto se debe a la presencia del CaCO<sub>3</sub> presente en el 99% de la composición de la valva. Este compuesto actúa en la captación de metales pesados a través de un proceso químico conocido como precipitación o coprecipitación, basado en la capacidad del CaCO<sub>3</sub> para reaccionar con los metales pesados disueltos en el agua, lo que lleva a la formación de compuestos insolubles que precipitan y se separan del agua, para eliminar así los metales pesados del entorno acuático.
- La dosis de pulverizado de valva si influye en el proceso de adsorción de Pb y Cr, factor que permite obtener resultados relevantes en cuanto a la remoción de metales pesados (Pb y Cr) en un valor aproximado de 99% y 78% respectivamente.
- Los niveles de pH del medio acuoso tienen influencia en el proceso de biosorción, puesto que permite la capacidad de los organismos para absorber metales a través de sus superficies corporales, como las branquias en los peces o las raíces en las plantas.



## 5.2 Recomendaciones

- La valva de algunos moluscos, entre ellos, *Anadara tuberculosa*, se cataloga como un desecho, por lo que, es recomendable promover su reutilización y la investigación de las propiedades de este residuo para diversos usos que generen un impacto ambiental positivo.
- Monitorear el área donde se realizó el estudio en diversas épocas del año para comprobar si existe influencia de las precipitaciones en las concentraciones de metales pesados y determinar las posibles causas de contaminación.
- Realizar investigaciones que impliquen la creación de biofiltros en forma de pellets a partir de la valva pulverizada de diferentes especies de moluscos con la finalidad de aplicarlo para el tratamiento de efluentes de industrias.
- Implementar un estudio más amplio con pulverizado de valva de *Anadara tuberculosa* en el que intervengan más metales pesados con el fin de comprobar la eficacia de la biosorción y la posibilidad de que algún parámetro fisicoquímico difiera la adsorción de un metal con otro.

## Referencias bibliográficas

- A Poma, P. (2013). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de La Facultad de Medicina*, 69(2). <https://doi.org/10.15381/anales.v69i2.1155>
- aconsa. (2022). *Metales pesados en el agua potable: ¿deben preocuparnos? ¿se pueden minimizar?* Laboratorio.
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2017). *Resumen de Salud Pública: Cromo (Chromium) | PHS | ATSDR*. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs7.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.html)
- Alvarado Vélez, J. A. (2017). *Impactos económicos y sociales de las políticas nacionales mineras en Ecuador (2000-2006)*.
- Anawar, H. M., & Chowdhury, R. (2020). Remediation of polluted riverwater by biological, chemical, ecological and engineering processes. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 17). <https://doi.org/10.3390/su12177017>
- Anawar, H. M., Garcia-Sanchez, A., Tari Kul Alam, M., & Majibur Rahman, M. (2008). Phytofiltration of water polluted with arsenic and heavy metals. In *International Journal of Environment and Pollution* (Vol. 33, Issues 2–3). <https://doi.org/10.1504/IJEP.2008.019400>
- ATSDR. (2017). *Resumen de Salud Pública \_ Plomo (Lead) \_ PHS \_ ATSDR*.
- Bermúdez, M. (2010). Contaminacion y turismo sostenible. *Cetd Sa*, 1.
- Bistua, R., Lucía Pinzón-Bedoya, M., María, A., & Tamayo, C. (2010). “Influencia del pH en la bioadsorción de Cr(III) sobre cáscara de naranja: Determinación de las condiciones de operación en proceso discontinuo” *Influence of the pH in the Biosorption of Cr(III) on orange shell: Determination of the conditions operation in discontinuous process* (Vol. 8, Issue 1).
- Bottjer, D. J., & Carter, J. G. (1980). Functional and phylogenetic significance of projecting periostracal structures in the Bivalvia (Mollusca). *Journal of Paleontology*, 54(1).
- Brito, M., & Mora, E. (2016). Catálogo de Moluscos Marinos Distribuidos en la Primera Milla de la Costa Ecuatoriana. *Instituto Nacional de Pesca (INP)*, 2(05).
- Cañizares-Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 42(3).
- Cardona Gutiérrez, A., Cabañas Vargas, D., & Zepeda Pedreguera, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1).
- Chávez, C. (2011). Detección de metales pesados en agua. *Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica*, 0.

- Checa, A. G., & Harper, E. M. (2010). Spikey bivalves: Intra-periostracal crystal growth in anomalodesmatans. *Biological Bulletin*, 219(3).  
<https://doi.org/10.1086/BBLv219n3p231>
- Chen, Q., Luo, Z., Hills, C., Xue, G., & Tyrer, M. (2009). Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: Sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide. *Water Research*, 43(10).  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.007>
- Consuelo Moreno-Bonett, Rosa Zugazagoitia-Herranz, Cristina Sánchez-Martínez, Rebeca Córdoba-Moreno, & Virginia Melo-Ruíz. (2012). *Determinación de metales pesados en el agua de un canal de Xochimilco (México, D.F.) como proyecto de Servicio Social*.
- Cuizano, N. A., Llanos, B. P., & Navarro, A. E. (2009). APLICACIONES AMBIENTALES DE LA ADSORCIÓN MEDIANTE BIOPOLÍMEROS NATURALES : PARTE 1- COMPUESTOS ENVIRONMENTAL APPLICATIONS OF ADSORPTION BY NATURAL BIOPOLYMERS . PARTE I – PHENOLIC COMPOUNDS. *Rev Soc Quim Peru*, 75(4).
- Diagomanolin, V., Farhang, M., Ghazi-Khansari, M., & Jafarzadeh, N. (2004). Heavy metals (Ni, Cr, Cu) in the Karoon waterway river, Iran. *Toxicology Letters*, 151(1).  
<https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2004.02.018>
- Domínguez, M. (2015). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. *Producción + Limpia*, 10(1).
- Duarte, E., Químico, R., Olivero Verbel, J., Farmacéutico, Q., Jaramillo, B. E., & Química, C. \*. (2009). *REMOCIÓN DE CROMO DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRES USANDO QUITOSAN OBTENIDO DE DESECHOS DE CAMARON*.
- Dunia, M., & Heredia, R. (2017). ARTÍCULO DE REVISIÓN Intoxicación ocupacional por metales pesados Occupational poisoning due to heavy metals. In *MEDISAN* (Vol. 21, Issue 12).
- EPA. (2018). *METHOD 6010D: INDUCTIVELY COUPLED PLASMA—OPTICAL EMISSION SPECTROMETRY*.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. *Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, 50(1680–9017).
- Félix, F., & Burneo, S. F. (2020). Imminent Risk of Extirpation for Two Bottlenose Dolphin Communities in the Gulf of Guayaquil, Ecuador. *Frontiers in Marine Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2020.537010/FULL>
- Hussain, A., Madan, S., & Madan, R. (2021). Removal of Heavy Metals from Wastewater by Adsorption. In *Heavy Metals - Their Environmental Impacts and Mitigation*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95841>
- IPIAP. (2011). *Revistas Ciencias del Mar y Limnología*.  
<https://institutopesca.gob.ec/revistas-ciencias-del-mar-y-limnologia/>

- Kratochvil, D., & Volesky, B. (1998). Advances in the biosorption of heavy metals. In *Trends in Biotechnology* (Vol. 16, Issue 7). [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(98\)01218-9](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(98)01218-9)
- Lucho-Constantino, C. A., Álvarez-Suárez, M., Beltrán-Hernández, R. I., Prieto-García, F., & Poggi-Varaldo, H. M. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environment International*, 31(3). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.08.002>
- Maldonado, J. M. (2009). Ciudades y Contaminación Ambiental. *Revista de Ingeniería*, 30. <https://doi.org/10.16924/revinge.30.8>
- Manuel Corrales Venegas. (2015). *Dialnet-AcumulacionDeMetalesPesadosEnBivalvosYSusEfectosTo-5821476*.
- Mariela, S., & Yantas, M. (2020). *Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental*.
- Medina, M. P., Michel, M. E., Cutiño, M., Frank, M., Calzadilla, V., Dolores, M., & Tort, S. (2008). *Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco Nickel and cobalt adsorption on activated coal of coconut shell*.
- Mejía, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1).
- Molina, P., Aguilar, N., & Cordovez, P. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia & Tecnología Para La Salud Visual y Ocular*, 8(1).
- Naja, G., & Volesky, B. (2011). The mechanism of metal cation and anion biosorption. In *Microbial Biosorption of Metals*. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0443-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0443-5_3)
- Navarrete-Forero, G., Morales Baren, Lady, Dominguez-Granda, L., Pontón Cevallos, J., Marín Jarrín, J. R., Navarrete-Forero, G., Morales Baren, Lady, Dominguez-Granda, L., Pontón Cevallos, J., & Marín Jarrín, J. R. (2019). HEAVY METALS CONTAMINATION IN THE GULF OF GUAYAQUIL: EVEN LIMITED DATA REFLECTS ENVIRONMENTAL IMPACTS FROM ANTHROPOGENIC ACTIVITY. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(3), 731–755. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.03.18>
- Orozco, C., Pérez, A., Gónzales, M., Rodríguez, F., & Alfayate, J. (2011). Contaminación Ambiental: Una visión desde la química. In *Thomson Editores Spain*.
- Paz, H., Lozano, E., Ortiz, S., Valverde, J., & Cortés, H. (2005). Obtención de carbonato de calcio de conchas de piangua. *Acta Agronómica*, 54(3).

- Polo Bravo, C., & Sulca Quispe, L. (2019). METALES PESADOS: FUENTES Y SU TOXICIDAD SOBRE LA SALUD HUMANA. *Ciencias*, 2(1).  
<https://doi.org/10.33326/27066320.2018.1.842>
- Prado-Carpio, E., Martínez-Soto, M., Rodríguez-Monroy, C., Núñez-Guerrero, Y., Quiñonez-Cabeza, M., Nazareno-Veliz, I., Egas-Moreno, F., & Castillo-Cabeza, N. (2020). Description of the production chain of the concha prieta bivalve mollusc “*anadara tuberculosa*.” *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*.  
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.504>
- Rivera Pérez, C., & Saavedra, N. Y. H. (2020). ¿Cómo se forma la concha de moluscos? *Recursos Naturales y Sociedad*, 6(1).  
<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2020.06.06.01.0004>
- Rodríguez Rey, A., Cuéllar Luna, L., Maldonado Cantillo, G., & Suardiaz Espinosa, M. E. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomedicas*, 35(3).
- Sari, A., & Tuzen, M. (2009). Kinetic and equilibrium studies of biosorption of Pb(II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (*Amanita rubescens*) biomass. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2–3), 1004–1011.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.002>
- Sarria-Villa, R. A., Gallo-Corredor, j. s., & Benítez-Benítez, R. (2020). Tecnologías para remover metales pesados presentes en aguas. Caso Cromo y Mercurio. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 12(1). <https://doi.org/10.46571/jci.2020.1.8>
- Sorroza Ochoa, L., Velasquez López, P., Roberto, ;, Reyes, S., Echeverría Espinoza, ; Edison, Mauricio, ;, & Morocho, Y. (2018). *Disminución/Reducción de la carga bacteriana en la concha negra Anadara tuberculosa para consumo humano Reducing bacterial load in Anadara tuberculosa for human consumption* (Vol. 39).
- Tamjidi, S., & Ameri, A. (2020a). A review of the application of sea material shells as low cost and effective bio-adsorbent for removal of heavy metals from wastewater. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 25, pp. 31105–31119). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09655-7>
- Tamjidi, S., & Ameri, A. (2020b). A review of the application of sea material shells as low cost and effective bio-adsorbent for removal of heavy metals from wastewater. In *Environmental Science and Pollution Research* (Vol. 27, Issue 25, pp. 31105–31119). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09655-7>
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34). <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Valdivia Infantas, M. M. (2005). Intoxicación por plomo Lead poisoning. *Valdivia Infantas 22 | Rev. Soc. Per. Med. Inter*, 18(1).

- Vargas Marcos, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2). <https://doi.org/10.1590/s1135-57272005000200001>
- Vega, Á. J., Robles P., Y. A., Alvarado, O., & Cedeño Mitre, C. (2021). Estructura de tallas, distribución y abundancia de *Anadara tuberculosa* (Bivalvia: Arcidae) en dos sistemas de manglar del Pacífico de Panamá. *Revista de Biología Tropical*, 69(2). <https://doi.org/10.15517/rbt.v69i2.43934>
- Weerasooriyagedra, M. S., & Kumar, S. A. (2018). A review of utilization of Mollusca shell for the removal of contaminants in industrial waste water. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 8(1), 282. [www.ijsrp.org](http://www.ijsrp.org)
- Yaset, M. V., & Víctor, V. G. (2017). La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos. *SciELO & Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(1).
- Zambrano Moreira, M., Caguana Baquerrizo, J., Chan Paredes, T., Zambrano Moreira, M., Caguana Baquerrizo, J., & Chan Paredes, T. (2019). La isla Santay, como atracción turística en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(1).
- Zewail, T. M., & Yousef, N. S. (2015). Kinetic study of heavy metal ions removal by ion exchange in batch conical air spouted bed. *Alexandria Engineering Journal*, 54(1). <https://doi.org/10.1016/j.aej.2014.11.008>

## Anexos



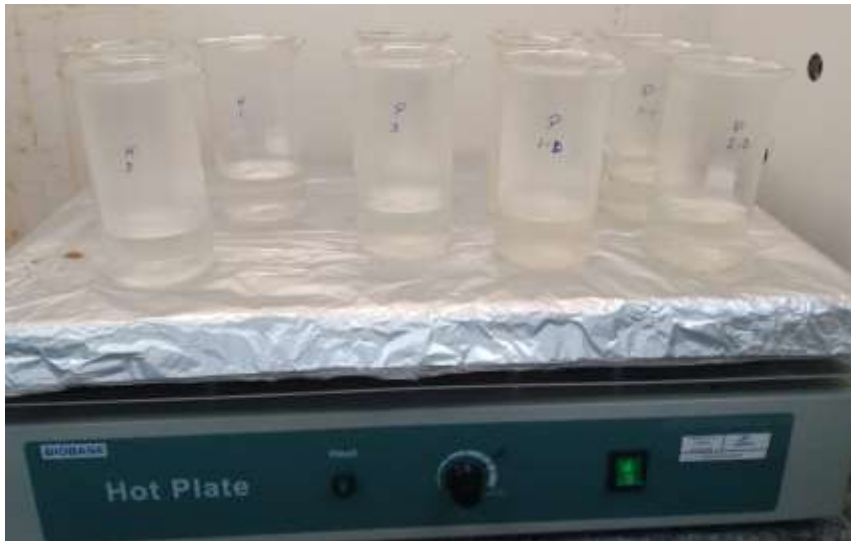
**Anexo 1.** Muestreo de agua en Isla Santay



**Anexo 2.** Almacenado de muestras obtenidas en 4 puntos



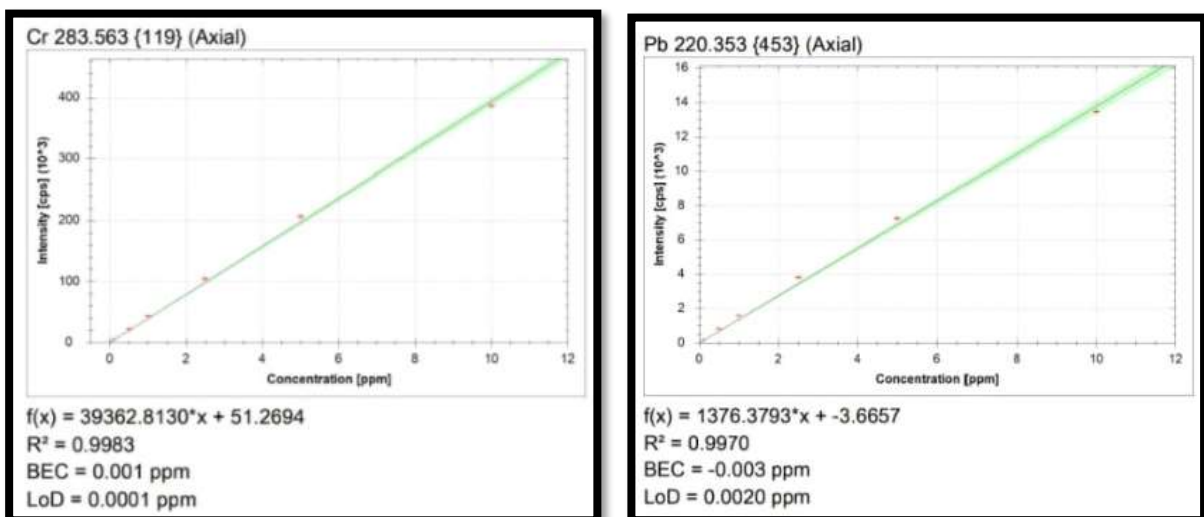
**Anexo 3.** Toma de parámetros fisicoquímicos



**Anexo 4.** Digestión química abierta de muestra líquida



**Anexo 5.** Elaboración de la curva de calibración



**Anexo 6.** Curva de calibración de Cr y Pb





**Anexo 7.** Determinación de metales por medio de ICP-OES



**Anexo 8.** Limpieza de valva de *Anadara tuberculosa*



**Anexo 9.** Obtención del pulverizado de valva



**Anexo 10.** Aplicación del tratamiento de biosorción a partir de valva pulverizada