



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

BIOSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE COCO (COCOS NUCIFERA) PARA LA  
REMOCIÓN DE PLOMO, CADMIO Y ZINC EN EFLUENTES MINEROS DE LA  
RELAVERA QUIULACOCCHA - CERRO DE PASCO, 2022

**Línea de investigación:**

**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Salazar Cabanillas, Alberto Edgar

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

**Jurado:**

Alva Velásquez, Miguel

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

Naupay Vega, Marlitt Florinda

**Lima - Perú**

**2024**





Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

BIOSORCIÓN DE LA CÁSCARA DE COCO (COCOS NUCIFERA) PARA LA  
REMOCIÓN DE PLOMO, CADMIO Y ZINC EN EFLUENTES MINEROS DE LA  
RELAVERA QUIULACocha - CERRO DE PASCO, 2022

**Línea de Investigación:**

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Salazar Cabanillas, Alberto Edgar

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

**Jurado(a):**

Alva Velásquez, Miguel

Osorio Rojas, Eberardo Antonio

Naupay Vega, Marlitt Florinda

**Lima – Perú**

**2024**

## **DEDICATORIA**

A mi querida madre, quien desde el cielo me protege y me guía hacia el camino correcto, a mi padre por inculcarme los buenos valores y apoyarme incondicionalmente durante el transcurso de este camino; a mis hermanos y hermanas por sus consejos y motivarme en cada momento a seguir siempre adelante a pesar de las adversidades, y no darme por vencido.

## **AGRADECIMIENTO**

En primera instancia agradezco a mi casa de estudios la Universidad Nacional Federico Villarreal, por acogerme y poder desarrollarme como profesional, a todos los docentes que lo conforman en especial a los maestros de la facultad de ingeniería ambiental, por inculcarnos sus conocimientos durante el desarrollo de mi etapa universitaria, a mi asesor lo cual fue fundamental para la presente investigación y de esta manera alcanzar obtener el título universitario.

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN .....  | 8  |
| ABSTRACT.....  | 9  |
| <br>   |    |
| I. INTRODUCCIÓN .....  | 10 |
| 1.1. Descripción y formulación del problema .....                        | 11 |
| 1.1.1. Descripción del problema .....                                    | 11 |
| 1.1.2. Formulación del Problema .....                                    | 13 |
| 1.2. Antecedentes .....  | 13 |
| 1.2.1. Antecedentes Internacionales .....                                | 13 |
| 1.2.2. Antecedentes Nacionales.....                                      | 17 |
| 1.3. Objetivos.....  | 21 |
| 1.3.1. Objetivo General .....  | 21 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos .....                                       | 21 |
| 1.4. Justificación .....   | 22 |
| 1.5. Hipótesis... ..   | 23 |
| 1.5.1. Hipótesis General .....   | 23 |
| 1.5.2. Hipótesis Específicas.....  | 23 |
| <br>   |    |
| II. MARCO TEÓRICO .....  | 24 |
| 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación .....                 | 24 |
| 2.1.1. Metales Pesados .....   | 24 |
| 2.1.2. Aguas Ácidas de Mina .....  | 26 |
| 2.1.3. Drenaje Ácido de Mina (DAM) .....                                 | 26 |
| 2.1.4. Proceso de Biosorción .....                                       | 27 |
| 2.1.5. Tipos de Adsorción .....  | 28 |
| 2.1.6. Isotermas de adsorción .....                                      | 30 |
| 2.1.7. Características del coco (Cocos nucifera L.).....                 | 32 |
| 2.1.8. Grupos funcionales presentes en la cáscara de coco .....          | 33 |
| 2.1.9. Depósito de Relaves Quiulacochoa.....                             | 34 |
| 2.1.10. Proceso de Coagulación, Floculación y Precipitación Química..... | 34 |
| 2.2. Marco Conceptual.....   | 35 |
| 2.2.1. Definición de Términos.....                                       | 35 |
| 2.3. Marco Legal Ambiental .....   | 36 |
| <br>   |    |
| III. MÉTODO.....   | 43 |
| 3.1. Tipo de investigación.....  | 43 |
| 3.2. Ámbito temporal y espacial .....                                    | 43 |
| 3.2.1. Ámbito temporal.....  | 43 |
| 3.2.2. Ámbito espacial.....  | 43 |
| 3.3. Variables .....   | 44 |
| 3.3.1. Variable Independiente.....                                       | 44 |
| 3.3.2. Variable Dependiente .....  | 44 |
| 3.4. Población y muestra.....  | 46 |
| 3.4.1. Población .....   | 46 |
| 3.4.2. Muestra.....  | 46 |
| 3.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos.....           | 46 |

|  |    |
|--|----|
| 3.5.1. Técnicas.....   | 46 |
| 3.5.2. Instrumentos .....  | 46 |
| 3.5.3. Equipos y materiales .....  | 46 |
| 3.6. Procedimiento .....   | 47 |
| 3.6.1. Toma de muestras.....   | 47 |
| 3.6.2. Caracterización de parámetros .....   | 48 |
| 3.6.3. Procedimiento de obtención del biosorbente de coco .....                          | 48 |
| 3.6.4. Preparación de muestras y la dosificación del biosorbente de coco.....            | 49 |
| 3.6.5. Prueba de Jarras.....   | 50 |
| 3.6.6. Análisis de la muestra después del tratamiento.....                               | 51 |
| 3.6.7. Análisis de datos final .....   | 51 |
| IV. RESULTADOS .....   | 53 |
| 4.1. Caracterización fisicoquímica del efluente del depósito de relaves Quiulacocho..... | 53 |
| 4.2. Resultados de la dosis óptima con cáscara de coco en la remoción de Plomo ....      | 53 |
| 4.2.1 Tratamiento con cáscara de coco a 5000 ppm.....                                    | 54 |
| 4.2.2 Tratamiento con cáscara de coco a 10000 ppm.....                                   | 55 |
| 4.2.3 Tratamiento con cáscara de coco a 20000 ppm.....                                   | 57 |
| 4.3. Resultados de la dosis óptima con cáscara de coco en la remoción de Cadmio..        | 58 |
| 4.3.1. Tratamiento con cáscara de coco a 5000 ppm.....                                   | 59 |
| 4.3.2. Tratamiento con cáscara de coco a 10000 ppm.....                                  | 60 |
| 4.3.3. Tratamiento con cáscara de coco a 20000 ppm.....                                  | 62 |
| 4.4. Resultados de la dosis óptima con cáscara de coco en la remoción de Zinc .....      | 63 |
| 4.4.1. Tratamiento con cáscara de coco a 5000 ppm.....                                   | 64 |
| 4.4.2. Tratamiento con cáscara de coco a 10000 ppm.....                                  | 65 |
| 4.4.3. Tratamiento con cáscara de coco a 20000 ppm.....                                  | 67 |
| 4.5. Resultados de las eficiencias del biosorbente con cáscara de coco para Plomo..      | 68 |
| 4.5.1. Ensayo N° 1: Concentración a 5000 ppm .....                                       | 69 |
| 4.5.2. Ensayo N° 2: Concentración a 10000 ppm .....                                      | 69 |
| 4.5.3. Ensayo N° 3: Concentración a 20000 ppm .....                                      | 70 |
| 4.6. Resultados de las eficiencias del biosorbente con cáscara de coco para Cadmio       | 71 |
| 4.6.1. Ensayo N° 1: Concentración a 5000 ppm .....                                       | 71 |
| 4.6.2. Ensayo N° 2: Concentración a 10000 ppm .....                                      | 71 |
| 4.6.3. Ensayo N° 3: Concentración a 20000 ppm .....                                      | 72 |
| 4.7. Resultados de las eficiencias del biosorbente con cáscara de coco para Zinc .....   | 73 |
| 4.7.1. Ensayo N° 1: Concentración a 5000 ppm .....                                       | 73 |
| 4.7.2. Ensayo N° 2: Concentración a 10000 ppm .....                                      | 73 |
| 4.7.3. Ensayo N° 3: Concentración a 20000 ppm .....                                      | 74 |
| V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....   | 75 |
| VI. CONCLUSIONES .....   | 78 |
| VII. RECOMENDACIONES .....   | 79 |
| VIII. REFERENCIAS .....  | 80 |
| IX. ANEXOS.....  | 85 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Diferencias entre la adsorción física (fisisorción) y química (quimisorción)..... | 30 |
| <b>Tabla 2.</b> Operacionalización de Variables de Investigación .....                            | 45 |
| <b>Tabla 3.</b> Resultados de la caracterización del efluente del depósito de relaves.....        | 53 |
| <b>Tabla 4.</b> Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Volumen del biosorbente de Coco.....       | 54 |
| <b>Tabla 5.</b> Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Volumen de biosorbente de Coco.....        | 56 |
| <b>Tabla 6.</b> Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Volumen de biosorbente de Coco.....        | 57 |
| <b>Tabla 7.</b> Resultados del ensayo: Cadmio Vs Volumen de biosorbente de Coco .....             | 59 |
| <b>Tabla 8.</b> Resultados del ensayo: Cadmio Vs Volumen de biosorbente de Coco .....             | 61 |
| <b>Tabla 9.</b> Resultados del ensayo: Cadmio Vs Volumen de biosorbente de Coco .....             | 62 |
| <b>Tabla 10.</b> Resultados del ensayo: Zinc Vs Volumen de biosorbente de Coco.....               | 64 |
| <b>Tabla 11.</b> Resultados del ensayo: Zinc Vs Volumen de biosorbente de Coco.....               | 66 |
| <b>Tabla 12.</b> Resultados del ensayo: Zinc Vs Volumen de biosorbente de Coco.....               | 67 |
| <b>Tabla 13.</b> Eficiencias del primer ensayo: Concentración 5000 ppm.....                       | 69 |
| <b>Tabla 14.</b> Eficiencias del segundo ensayo: Concentración 10000 ppm.....                     | 70 |
| <b>Tabla 15.</b> Eficiencias del tercer ensayo: Concentración 20000 ppm .....                     | 70 |
| <b>Tabla 16.</b> Eficiencias del primer ensayo: Concentración 5000 ppm.....                       | 71 |
| <b>Tabla 17.</b> Eficiencias del segundo ensayo: Concentración 10000 ppm.....                     | 72 |
| <b>Tabla 18.</b> Eficiencias del tercer ensayo: Concentración 20000ppm .....                      | 72 |
| <b>Tabla 19.</b> Eficiencias del primer ensayo: Concentración 5000 ppm.....                       | 73 |
| <b>Tabla 20.</b> Eficiencias del segundo ensayo: Concentración 10000 ppm.....                     | 74 |
| <b>Tabla 21.</b> Eficiencias del tercer ensayo: Concentración 20000 ppm .....                     | 74 |

**INDICE DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Comportamiento del Plomo a diferentes dosis de tratamiento/500 ppm.....     | 55 |
| <b>Figura 2.</b> Comportamiento del Plomo a diferentes dosis de tratamiento/10000 ppm.....   | 56 |
| <b>Figura 3.</b> Comportamiento del Plomo a diferentes dosis de tratamiento/20000 ppm.....   | 58 |
| <b>Figura 4.</b> Comportamiento del Cadmio a diferentes dosis de tratamiento/5000 ppm. ....  | 60 |
| <b>Figura 5.</b> Comportamiento del Cadmio a diferentes dosis de tratamiento/10000 ppm. .... | 61 |
| <b>Figura 6.</b> Comportamiento del Cadmio a diferentes dosis de tratamiento/20000 ppm. .... | 63 |
| <b>Figura 7.</b> Comportamiento del Zinc a diferentes dosis de tratamiento/5000 ppm.....     | 65 |
| <b>Figura 8.</b> Comportamiento del Zinc a diferentes dosis de tratamiento/10000 ppm.....    | 66 |
| <b>Figura 9.</b> Comportamiento del Zinc a diferentes dosis de tratamiento/20000 ppm.....    | 68 |

## RESUMEN

La presente investigación fue desarrollada con el objetivo de eliminar las concentraciones de metales pesados (Plomo, Cadmio y Zinc), mediante el método de biosorción, empleando como material biosorbente la cáscara de coco en muestras de aguas contaminadas por la actividad minera, efluentes mineros de la relavera Quiulacocha, distrito de Simón Bolívar- Región Pasco. Este método se muestra atractivo y ventajoso debido a su eficiencia y bajo costo; puesto que, se aprovecha la materia orgánica generados por actividades industriales y materiales de desechos agrícolas. La metodología fue la siguiente: Tipo de investigación aplicada, enfoque cuantitativo, diseño experimental – transversal. La técnica fue mediante el método de biosorción utilizando como biosorbente la cáscara de coco y se desarrolló en pruebas de jarras a nivel de laboratorio. La población consta del volumen total de agua del depósito de relaves Quiulacocha y la muestra conformada por el volumen de muestra para el tratamiento en el floculador; de manera que, se trabajó con un volumen de 30 litros de muestra. Los resultados demostraron que, la máxima eficiencia para la remoción de los metales se logró a concentraciones de 20000 ppm con dosis de 100 ml; de ahí que, se obtuvo valores de 0.179 mg/l Pb, 0.043 mg/l Cd y 0.897 mg/l Zn, con eficiencias de 69.62 %, 90.88% y 95.94% respectivamente, cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles. Definiendo que, es posible considerar la técnica de biosorción como una alternativa para la remoción de metales pesados, a partir de residuos de cáscara de coco como biosorbente.

*Palabras Clave:* biosorción, material biosorbente, remoción, metales pesados.

## ABSTRACT

The present research was developed with the objective of eliminating the concentrations of heavy metals (Lead, Cadmium and Zinc), through the biosorption method, using coconut shell as a biosorbent material in samples of water contaminated by mining activity, mining effluents from the Quiulacocha tailings dam, Simón Bolívar district - Pasco Region. This method appears attractive and advantageous due to its efficiency and low cost; since, the organic matter generated by industrial activities and agricultural waste materials are used. The methodology was as follows: Type of applied research, quantitative approach, experimental – transversal design. The technique was through the biosorption method using coconut shell as a biosorbent and was developed in jar tests at laboratory level. The population consists of the total volume of water from the Quiulacocha tailings deposit and the sample made up of the sample volume for treatment in the flocculator; so, we worked with a volume of 30 liters of sample. The results showed that the maximum efficiency for metal removal was achieved at concentrations of 20,000 ppm with doses of 100 ml; Hence, values of 0.179 mg/l Pb, 0.043 mg/l Cd and 0.897 mg/l Zn were obtained, with efficiencies of 69.62%, 90.88% and 95.94% respectively, complying with the Maximum Permissible Limits. Defining that, it is possible to consider the biosorption technique as an alternative for the removal of heavy metals, from coconut shell waste as a biosorbent.

*Keywords:* biosorption, biosorbent material, removal, heavy metals.

## I. INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son sustancias tóxicas y no biodegradables con alta persistencia y tienden a acumularse en los seres vivos, en altas concentraciones provocan alteraciones irreversibles y la muerte. Siendo la actividad minera una de las principales fuentes de contaminación ambiental por metales pesados, que vierten en algunas ocasiones y sin previo tratamiento sus efluentes hacia los recursos hídricos (ríos, lagunas, lagos, etc.) con altos contenidos de metales pesados como el Cromo, Plomo, Cadmio, Mercurio, Zinc, etc. (Vera et al., 2015). De ahí que, un potencial método alternativo para la remoción de metales pesados en efluentes mineros es el método de biosorción. La biosorción es un proceso físico-químico que ocurre entre dos sustancias, involucra una fase sólida (bioadsorbente) y una fase líquida (agua) que contiene los iones de interés (metales pesados) (Sánchez et al., 2020).

Este problema como a nivel mundial, se observa en muchas regiones del Perú, como, por ejemplo; la relavera de efluentes en la comunidad de Quiulacocha, distrito Simón Bolívar, región de Pasco. De modo que, la presente investigación se enfocó en eliminar los metales pesados, siendo de interés el Plomo, Cadmio y Zinc mediante el método de biosorción aprovechando como biosorbente la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) en muestras de agua contaminadas por la actividad minera. De acuerdo a los resultados que se obtuvo de la investigación, las máximas eficiencias alcanzadas para la remoción de Plomo, Cadmio y Zinc se lograron a concentraciones de 20000 ppm con dosificaciones de 100 ml de biosorbente de cáscara de coco, logrando valores de 0.179 mg/l Pb, 0.043 mg/l Cd y 0.897 mg/l Zn con el 69.62 %, 90.88% y 95.94% respectivamente, alcanzando cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP).

## **1.1. Descripción y formulación del problema**

### ***1.1.1. Descripción del problema***

A nivel mundial y ambientalmente, en la actualidad uno de las mayores dificultades es la contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados, debido a la toxicidad que muestran los metales pesados en el agua de los ríos, que son calificados como un grave problema para los habitantes de las poblaciones que se proveen de dichos ríos en especial si se considera que el aumento en la concentración de estos metales en las fuentes hídricas proviene de las diversas actividades antropogénicas (Pabón et al., 2020). Entre ellas se tiene la práctica de actividades mineras y combustión de combustibles fósiles (madera, carbón, gasolinas y lubricantes); también como los desechos municipales y los lodos en las plantas de tratamiento. La galvanoplastia o curtiduría y la industria de los fertilizantes que habitualmente usan Cromo y Cadmio. Asimismo, las industrias de metales no ferrosos que originan humos, polvo, aguas y lodos de desecho que contienen Cadmio (Calva et al., 2003).

En Latinoamérica el 80% de la población viven en ciudades y de mayor proporción en asentamientos cercanos a fuentes contaminadas (Larios et al., 2015). La gran mayoría de países latinoamericanos soportan el problema de contaminación por metales pesados en agua. En países como Argentina, México, Chile, el Salvador, Nicaragua, Perú y Bolivia, cerca de cuatro millones de personas consumen aguas contaminadas por metales pesados (Reyes et al., 2016).

En el Perú, la presencia de metales pesados en agua, alimentos y aire es una de las importantes problemáticas actuales a nivel mundial. El alto grado de toxicidad de estos elementos químicos originan efectos en la salud del ser humano generando daños irreversibles en la flora y fauna, así como en el medio ambiente en general; además, a su vez, causa grandes impactos socioeconómicos (Correa et al., 2021). Uno de los lugares que presenta esta problemática es la comunidad de Quiulacocha, distrito de Simón Bolívar, que pertenece a la

provincia y departamento de Pasco. Esta localidad fue calificada por muchos años, como el distrito minero más importante del departamento de Pasco; sin embargo, en el presente es conocido a nivel nacional, por sus graves problemas ambientales y de salud pública, debido a los impactos de la actividad extractiva minera (Asociación Civil Centro de Cultura Popular Labor, 2018).

Las aguas residuales procedentes de las actividades mineras y metalúrgicas son consideradas como la mayor fuente de contaminación de metales pesados, estas sustancias tienden a persistir indefinidamente en el medio ambiente, comprometiendo la salud de las personas y animales mediante su acumulación e ingreso a la cadena alimenticia; de manera que, la necesidad de emplear métodos económicos y efectivos para la eliminación de estos metales han conllevado al desarrollo de nuevas tecnologías de separación y/o eliminación. Por ejemplo, el uso de materiales de origen biológico, empleada como biosorbente para la remoción de contaminantes que se obtienen de materiales de desecho (García et al., 2013).

Por esta razón, la presente investigación pretende eliminar los metales pesados, siendo de interés el Plomo, Cadmio y Zinc mediante el método de biosorción empleando como biosorbente la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) en muestras de agua contaminadas por la actividad minera. Este método muestra ser una técnica interesante debido a su eficiencia y las ventajas que presenta; por ejemplo, un bajo costo, puesto que, generalmente se aprovecha la materia orgánica sin aplicación industrial como restos orgánicos generados por actividades industriales y materiales de desechos agrícolas.

### **1.1.2. Formulación del Problema**

#### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo es la biosorción de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) en la remoción de Plomo, Cadmio y Zinc en efluentes mineros de la relavera Quiulacochoa, Cerro de Pasco 2022?

#### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuáles son las características de los parámetros fisicoquímicos de los efluentes mineros depositados en la relavera Quiulacochoa?
- b. ¿Cuánto es la dosis óptima del biosorbente de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) para la remoción de Plomo, Cadmio y Zinc en efluentes mineros depositados en la relavera Quiulacochoa?
- c. ¿Cómo es la eficiencia del biosorbente de la cáscara de coco para la remoción de Plomo, Cadmio y Zinc en efluentes mineros depositados en la relavera Quiulacochoa?

### **1.2. Antecedentes**

#### **1.2.1. Antecedentes Internacionales**

Huaman et al., (2006), en su artículo científico titulado: “Biosorptión of cadmium by green coconut shell power”, establece como objetivo determinar la capacidad de biosorción del polvo de cáscara de coco para cadmio; asimismo, se examinaron las influencias del tamaño de las partículas, los valores de pH y la concentración de iones mediante modelos de equilibrio de absorción y modelos cinéticos. Para el modelo de equilibrio de absorción, se emplearon modelos de adsorción de Langmuir y Freundlich, que detallan el equilibrio entre metálicos adsorbidos en el polvo de cáscara de coco e iones metálicos en solución a temperatura constante. Por otro lado, el modelo cinético, tiene la finalidad de investigar el mecanismo de biosorción y el paso de control de la tasa potencial, como el traslado de masa y los procesos de reacción química.

Los resultados mostraron el aumento porcentual de la eliminación del  $\text{Cd}^{+2}$ , del 69%, a pH 4, al 98%, a un pH 7. Superior al valor de pH 7, la eliminación permaneció constante hasta pH 9. Con respecto a la influencia del tamaño de la partícula, los resultados muestran una disminución en la eliminación de  $\text{Cd}^{+2}$  con la reducción del tamaño de partícula de la biomasa. En conclusión, el polvo de cáscara de coco tiene un alto potencial de eliminar el ion cadmio.

Rondón et al., (2020), en su artículo científico titulado: “Use of the coconut shell (Cocos nucifera) as a filtering medium in the water treatment of El Salto, Venezuela”, tiene como finalidad la eliminación de sólidos suspendidos y restos de aceite presentes en el agua de procesos, a través de un proceso de filtración, a base del mesocarpio y endocarpio de las cáscaras de coco como medio filtrante. En tal sentido, se realizó una caracterización de las condiciones originales del agua de procesos, la pulverización de la cáscara del coco, seguidamente la selección de partículas de 1mm, 2 mm y 3 mm efectuados para medir la eficacia del proceso de filtración. Por consiguiente, se obtuvo en esta investigación, la disminución de la concentración de sólidos suspendidos desde 184,25 mg/l hasta 53 mg/l, representando una eficacia del 68,82%, en partículas de 2 mm de cáscara de coco, mejorando las condiciones del agua de procesos. Por otra parte, la remoción de aceites alcanzó una reducción de 217 mg/l hasta 3 mg/l, alcanzando una eficacia del 98,55 %, en partículas de 2 mm. Concluyendo que, al emplear el medio filtrante a base de la cáscara de coco a nivel de prueba piloto en las aguas de procesos, hubo una disminución considerable de la concentración de los sólidos suspendidos y aceites, alcanzando valores por debajo del estándar establecido.

Bakar et al., (2021), en su artículo científico titulado: “Removal of Cr (III) from industrial wastewater using coconut Shell carbón and limestone as adsorbent”, tiene como objetivo comprobar la eficacia de la mezcla de caliza y carbón de cáscara de coco como

adsorbente natural transformado para la eliminación de Cr (III) en aguas residuales. Se aplicó un estudio de adsorción por lotes para comprobar la eficiencia de eliminación y la capacidad de los medios adsorbentes modificados para adsorber Cr (III) en aguas residuales. También se empleó el estudio cinético de equilibrio de adsorción, que estudia el comportamiento del mecanismo de adsorción utilizando un modelo cinético de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden. El resultado determina que, a los 60 minutos de hora de contacto, la remoción de Cr (III) en muestras de agua residual sintética es de alrededor del 98% con una capacidad de adsorción óptima de 0.000019 mg/g a 250 rpm de velocidad de agitación en pH 5 (pH óptimo). Para el modelo cinético de adsorción, se ajusta mejor al modelo de pseudo-segundo orden, debido al alto valor del coeficiente de regresión  $r^2$  que está entre 0.8841 a 0.9944, en comparación al bajo valor de  $r^2$  del pseudo-primer orden, que está solo entre 0.1131 a 0.6140. Concluyendo que la mezcla de piedra caliza y el carbón de cáscara de coco como adsorbente modificado posee el potencial de disminuir la concentración de Cr (III) en las aguas residuales industriales.

Sousa Neto et al., (2012), en su artículo científico titulado: “Coconut bagasse treated by thiourea/ammonia solution for cadmium removal: Kinetics and adsorption equilibrium”, en este estudio se planteó como objetivo determinar la eficacia de eliminación de cadmio (Cd) en aguas residuales mediante cáscaras de coco modificada con tiourea/amonio. La metodología empleada fue los estudios de adsorción por lotes, estudios de adsorción cinética y de equilibrio. En el primer caso de estudio, se llevó a cabo agitando matraces de 100 ml conteniendo 50mg de CBT (bagazo de coco tratado) y 25 ml de  $Cd^{2+}$  y a pH 5,5 durante 370 minutos. Para el estudio de modelo cinético, se concluyó que el modelo de pseudo-segundo orden simboliza mejor los datos cinéticos para la adsorción de cadmio, con valor de 0.997 coeficiente de variación ( $r^2$ ). En los estudios de adsorción de equilibrio se usaron los modelos de Langmuir, Freundlich y Temkin. El modelo de Langmuir se fundamenta en el supuesto

donde el mayor grado de adsorción corresponda a una monocapa repleta de partículas de la sustancia disuelta en la capa superficial del adsorbente, sin interacción lateral entre los iones metálicos adsorbidos. En el modelo de Freundlich es una ecuación empírica aplicada para precisar sistemas heterogéneos. Para el modelo de Temkin, se consideró los efectos de ciertas interacciones indirectas de sorbeto/adsorbato sobre las isothermas de adsorción. En consecuencia, en los modelos de Langmuir y Temkin, los datos de adsorción en equilibrio revelaron buenos ajustes.

En conclusión, se comprobó que la remoción de iones de cadmio de la solución acuosa por medio de cáscara de coco modificado con tiourea/amoníaco era eficiente y puede ser aprovechado para la eliminación de cadmio en aguas residuales.

Ayuba et al., (2018), en su artículo titulado: “Performance evaluation of agro-based adsorbent for the removal of cadmium from wastewater”, se planteó como objetivo la evaluación y comparación de los materiales de desecho de origen agrícola, como el carbón activado de cáscara de coco (CSAC), carbón activado de cáscara de almendra (ASAC) y carbón activado de cáscara de nuez (WSAC), para la eliminación de cadmio de las aguas residuales de galvanoplastia. Se efectuaron experimentos de adsorción para evaluar el rendimiento. Siendo la máxima eficiencia de eliminación de Cd(II) con el carbón activado de cáscara de coco, 83,7% a un pH de 6.5; para el carbón activado de cáscara de nuez, 80,6 % a un pH 7; y en último lugar para la cáscara de almendra, que se obtuvo 72,5 % a pH 6. El grado de eliminación depende de la dosis de adsorbente, el tiempo de contacto, concentración de iones metálicos y el tamaño de partículas. La adsorción de cadmio sigue la ecuación de pseudo-segundo orden para la cáscara de coco. Los datos de isothermas logrados siguen más de cerca la isoterma de adsorción de Freundlich para la cáscara de coco, mientras que, para la cáscara de almendra y cáscara de nuez, siguen mejor la isoterma de adsorción de Langmuir. Se concluye que los adsorbentes (cáscara de coco, cáscara de nuez y almendras) se pueden usar

como adsorbentes eficaces para la remoción de cadmio de las aguas residuales de galvanoplastia. Siendo el carbón activado de cáscara de coco el de mayor potencial para eliminar el ion de cadmio de las aguas residuales.

### **1.2.2. Antecedentes Nacionales**

García et al., (2011), en su artículo titulado: “Estudio de la cinética de biosorción de iones de Plomo en pectina reticulada proveniente de la cáscara de cítricos”, determinó como propósito hallar el pH ideal y el modelo matemático que simbolice la cinética de biosorción del contaminante (Plomo) en pectina reticulada procedente de la cáscara de naranja. La metodología fue la siguiente: En 10 recipientes de vidrio se añadieron a cada uno 100 ml de Nitrato de Plomo  $Pb(NO_3)_2$ , previa preparación de 2 litros a 100 ppm, cada ejemplar a distintas concentraciones de pH (1,14; 1,54; 2,02; 2,51; 3,02; 3,42; 3,95; 4,52; 5,03; 5,66). Posteriormente se añadieron 25 mg del biosorbente a cada ejemplar, seguidamente a temperatura ambiente se llevó al agitador mecánico programado a 250 revoluciones por minuto, por un lapso de tiempo de 72 h. Transcurrido el periodo de tiempo, mediante la filtración el biosorbente se desvincula de las muestras; luego para determinar la concentración de pH final de las soluciones, de igual modo calcular el grado de plomo sobrante a través del método de espectrometría de absorción atómica. En caso del estudio de la cinética, con diferentes cantidades de biosorbente, se prepararon tres soluciones de 1 litro de sal de plomo (II) de 53,9 ppm y se ajustó el pH a 5,5 con  $HNO_3$  0,5M. Se instalaron las soluciones en agitador magnético, ubicando en contacto, con cada solución, 150,2; 250,4 y 351,7 mg de biosorbente. Concluyendo que el pH donde se produce la mayor adsorción, corresponde a la presencia de la mayor cantidad posible de carboxilos en forma iónica. Siendo los valores de pH inicial de la solución de entre 4,5 y 5,5, sobre estos valores el plomo precipita. Asimismo, la cinética de biosorción corresponde al modelo de pseudo primer orden con mayor exactitud, debido a que el coeficiente de correlación no lineal se ajusta mejor a este tipo de modelo.

Díaz et al., (2013), en su artículo titulado: “Estudio de la biosorción de Cromo (V) con Quitosano Cuaternario Reticulado para su aplicación en biorremediación de aguas contaminadas”, planteó como objetivo determinar la capacidad del adsorbente, quitosano cuaternario entrecruzado, para la adsorción del Cromo (VI) a partir de soluciones acuosas, mediante experimentos de adsorción discontinuos. La metodología consistió en determinar la velocidad de adsorción; para ello, se pesó una cantidad de adsorbente; anteriormente en un recipiente se añadió suficiente cantidad de solución de Cromo (VI), ajustada al pH óptimo y se dejó en agitación constante impidiendo la turbulencia; luego se agregó el adsorbente e inmediatamente se accionó el cronometro para medir el tiempo por 24. Cada cierto tiempo se retiró pequeñas cantidades de la mezcla; se filtró y analizó el contenido de Cromo (VI). Los resultados se han examinado empleando los modelos matemáticos de Langmuir y Freundlich. Concluyendo que el adsorbente seleccionado, quitosano cuaternario entrecruzado, tiene excelente capacidad y alta eficiencia de adsorción y se ajusta a los modelos Langmuir y Freundlich con una capacidad máxima de adsorción de  $208,3 \text{ mgg}^{-1}$ . Asimismo, el potencial de hidrógeno donde muestra un fuerte afecto en la capacidad de adsorción, es a pH 4,5 (óptimo).

Lavado et al., (2016), en su artículo titulado: “Estudio de la biosorción de Plomo divalente de soluciones acuosas usando biomasa modificada de marlo de maíz (*Zea mays*)”, el estudio planteó como objetivo investigar la capacidad de la biomasa modificada químicamente del marlo de maíz para remover Pb (II) de soluciones acuosas. Asimismo, determinar la influencia del pH, tiempo de adsorción, dosis de biosorbente y vincular los resultados experimentales de equilibrio y cinética con los modelos matemáticos. La metodología para la biosorción de los iones de Pb(II) de soluciones acuosas fue mediante un sistema batch, utilizando 100 ml de muestra de solución Pb(II); los parámetros de temperatura ( $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y velocidad de agitación (150 rpm) permanecieron constantes. Se estableció la dosis

de biosorbente, utilizando diferentes concentraciones del marlo de maíz (0,1; 0,2; 0,4 y 0,8 g) en 100 ml de la solución. Para comprobar el equilibrio cinético, se trabajó a diferentes intervalos de tiempo en un rango de 1-180 min. Para el estudio de la influencia del pH se efectuó ajustando pH de la solución inicial en un rango de 2-6 manipulando soluciones 0.1 M NaOH y HNO<sub>3</sub>. Por absorción atómica con un espectrofotómetro y a una longitud de onda de 283,3 nm, se obtuvo la concentración final de plomo en solución en equilibrio. Concluyendo que el biosorbente, proveniente del marlo de maíz con solución de NaOH, logró una buena capacidad de biosorción de plomo de hasta 12,44 mg Pb/g. Asimismo, se estableció las condiciones óptimas para la remoción de Pb(II), las cuales fueron de 60 minutos de tiempo de agitación, 4g/l de biosorbente y pH 5,0.

Ore et al., (2015), en su artículo titulado: “Biosorción de Pb(II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*)”, planteó como objetivo determinar la capacidad máxima para la remoción del Pb(II) contenido en las aguas residuales de mina, a través de la caracterización del material natural (biosorbente), por otra parte determinar las condiciones óptimas de los análisis de biosorción como la cantidad requerida del biosorbente, tiempo de agitación y concentración de pH; así mismo correlacionar los datos experimentales de equilibrio y cinética con los modelos matemáticos. Dentro de la metodología empleada se inició con la preparación del biosorbente y la solución de Pb. Para la separación de impurezas del marlo de maíz, se lavó con abundante agua destilada y luego fue llevado a un horno y secado a 60° C por 24 horas. Posteriormente son molidas y tamizadas a malla de 50 µm. Respecto a la solución de Pb(II), se preparó disolviendo sal de nitrilo de plomo,  $Pb(NO_3)_2$ , en agua desionizada. Para la caracterización del biosorbente, se obtuvo el área de superficie, a través de la adsorción de N<sub>2</sub> a 77 K en un equipo de adsorción, modelo Gemini VII (serie t). Luego para obtener el área superficial y volumen de microporo se utilizó las ecuaciones de BET (Brunaure-Emmett – Teller) y DR (Dubinin – Radushkevick). Se determinó la absorción

de los iones de Pb (II), mediante el sistema batch, se utilizó 100 ml de muestra de solución de Pb(II); los parámetros de temperatura (20°C) y velocidad de agitación (150 rpm) se mantuvieron constantes. Para la obtención del equilibrio cinético se trabajó a diferentes intervalos de tiempo en un rango de 1-180 min. Posteriormente, la concentración final de plomo, se determinó por adsorción atómica con un espectrofotómetro marca SHIMADZU modelo AAS 6800 a una longitud de onda de 283,3 nm. Concluyendo que se obtuvo una eliminación del 97% de Pb(II) de la muestra de estudio, aguas residuales de mina, de modo que se comprueba la eficiencia y lo económicamente rentable, de este método, para el tratamiento de las aguas residuales con presencia de Pb(II). Asimismo, las condiciones óptimas para la remoción de Pb(II) resultaron de 4g/l de biosorbente, 5,5 de pH y tiempo de agitación de 90 minutos.

Sánchez et al. (2014), en su artículo titulado: “Estudio de la cinética de biosorción de iones de Cadmio (II) en pectina reticulada proveniente de la cáscara de naranja”, donde se planteó como objetivo hallar el modelo matemático que mejor interprete la cinética de biosorción del cadmio en pectina reticulada sustraída de cáscaras de naranja y la concentración óptima de pH. Dentro de la metodología empleada, se obtiene el aislamiento del material péctico a través del método de hidrólisis ácida (pH 1,5 y temperatura de 90° C), haciendo uso la solución de ácido clorhídrico como agente extractante y para la reticulación se hizo a 50 °C en presencia de  $H_2SO_4$  a 0,1 M y formaldehído. Para lograr determinar la óptima concentración de pH, se empleó el nitrato de cadmio,  $Cd(NO_3)_2$ , en una solución de 2 litros a 42,25 ppm de Cadmio (II); seguidamente se distribuyó volúmenes de 100 ml de la solución preparada en 10 frascos de vidrio, cada una ajustadas a diferentes concentraciones de pH (desde 1,5 pH hasta 6,0 pH con intervalos de 0,5). Seguidamente se agregó 25 mg de biosorbente a cada ejemplar y se continuó con el proceso de agitador orbital programable a 250 revoluciones por minuto, durante un lapso de tiempo de 72 horas a temperatura ambiente.

Culminado el tiempo del proceso del agitador, se extrajo el biosorbente de las muestras; seguidamente se realizó el proceso de filtración y se determinó las concentraciones de pH final de cada solución. Para el estudio cinético, tomado en cuenta el tamaño de la partícula; se realizó la preparación de 39,15 ppm de Cadmio (II) en dos soluciones de un litro cada uno y se ajustó a concentración óptima de 5,5 pH; luego se adicionó 100 mg de biosorbente y se colocó en el sistema de agitador magnético por un lapso de tiempo de 48 horas. Para finalizar, mediante la técnica de espectrometría de adsorción atómica de llama (modelo de equipo Perkin Elmer Analyst 100), se halló la concentración de Cd (II) en cada caso. Concluyendo que la capacidad de adsorción de cadmio en pectina reticulada perteneció al rango de pH 4,5-5,5; debido a la desprotonación (transferencia de un catión hidrógeno por parte de una molécula) que sucede en ese rango para la sorción del Cadmio. Asimismo, al emplear partículas muy pequeñas que oscilan entre 0 a 125  $\mu\text{m}$  en la solución, se logró alcanzar considerable capacidad de adsorción del biosorbente (concentración inicial 148,4 mg/g) y un importante descenso de la concentración inicial de cadmio.

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Remover las concentraciones de Plomo, Cadmio y Zinc mediante el uso del biosorbente de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) en efluentes mineros depositados en la relavera Quiulacocha - Cerro de Pasco, 2022.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- a. Determinar las características de los parámetros fisicoquímicos en muestras de agua de la relavera Quiulacocha con relación a los Límites Máximos Permisibles (D. S. N° 010-2010-MINAM).
- b. Determinar la dosis óptima del biosorbente de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) para la remoción de Plomo, Cadmio y Zinc en muestras de agua de la relavera Quiulacocha.

- c. Determinar la eficiencia del biosorbente para la remoción de Plomo, Cadmio y Zinc en muestras de agua de la relavera Quiulacocho.

#### **1.4. Justificación**

Actualmente las actividades humanas causan efectos negativos en el entorno que los rodea. Actividades antropogénicas como la industria minera, que utilizan ciertas sustancias químicas (metales pesados) en sus procesos de extracción y procesamiento; asimismo, generan grandes volúmenes de aguas residuales industriales. Siendo estos vertidos sin previo tratamiento (excediendo los Límites Máximos Permitidos) a las fuentes de recursos hídricos, provocando de esta manera una alteración en las características físicas-químicas de las aguas que los contengan (ríos, lagunas, lagos, etc.); causando que, estas fuentes de agua sean contaminadas a tal punto de no ser aptos para su consumo humano, disminuyendo su calidad y alterando al medio ambiente.

Por lo tanto, resulta de gran interés desarrollar técnicas de tratamiento de agua para una eficaz remoción de agentes contaminantes por metales pesados, con ventajas en comparación a las técnicas convencionales que actualmente se emplean. Por ejemplo, la biosorción que presenta bajos costos operativos y uso de materiales de origen natural u orgánicos.

Por consiguiente, la presente investigación tiene por finalidad remover metales pesados como el Plomo, Cadmio y Zinc empleando la técnica de biosorción con cáscara de coco (*Cocos nucifera*) en muestras de agua contaminadas por la actividad minera. En ese sentido, la metodología que se empleó es de tipo experimental, de manera que se estudió las características fisicoquímicas en pruebas de jaras a nivel de laboratorio; asimismo, la aplicación de diferentes dosis del biosorbente y a temperatura ambiente, hasta encontrar las mayores eficiencias de remoción en cada uno de los casos.

La cáscara de coco es un residuo lignocelulósico, que tratada puede ser utilizada como

biosorbente y obtener excelentes características para la eliminación de metales pesados, mejorando así la calidad del agua. Además, los residuos de coco son un material de bajo costo; por lo que, adquirirlos no representaría un problema. De esta manera la investigación busca desarrollar una técnica centrado en el uso de compuestos orgánicos para la eliminación de metales pesados y que brindará una alternativa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos biodegradables, promoviendo de esta manera la sostenibilidad ambiental.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis General***

El proceso de biosorción con cáscara de coco (*Cocos nucifera*) permitirá remover el Plomo, Cadmio y Zinc en efluentes mineros depositados en la relavera Quiulacocha, distrito de Simón Bolívar-Pasco, 2022.

### ***1.5.2. Hipótesis Específicas***

- a. Las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos, de los efluentes mineros depositados en la relavera Quiulacocha, superan las medidas de concentración del LMP (Límites Máximos Permisibles).
- b. El uso del biosorbente con cáscara de coco (*Cocos nucifera*) permitirá remover a distintas dosis el Plomo, Cadmio y Zinc en efluentes mineros depositados en la relavera Quiulacocha.
- c. El uso del biosorbente a partir de la cáscara de coco permitirá alcanzar diferentes eficiencias en la remoción de Plomo, Cadmio y Zinc en efluentes mineros depositados en la relavera Quiulacocha.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1. Metales Pesados

Los metales pesados son elementos metálicos que tienen el número atómico superior a los 20, que muestran propiedades metálicas. Del conjunto, se tienen elementos traza, o elementos requeridos para el desarrollo, crecimiento y apropiado funcionamiento de los organismos vivos (entre ellos; el cromo, cobre, zinc y hierro) y aquellos que son innecesarios para tales fines (por ejemplo; el mercurio, plomo y cadmio). No obstante, su característica habitual es que, más allá de cierto límite, son muy peligrosos y nocivos para seres humanos, los animales y plantas. Los metales pesados tóxicos dependen primordialmente del grado de contaminación, pero además de la especie y la edad del organismo, el trayecto de entrada del cuerpo, la forma del producto químico, el tipo de interacción con otros metales o la condición fisiológica del organismo (Romero, 2019). Una propiedad significativa de los metales es que no se degradan en comparación de muchos contaminantes orgánicos que se deterioran al estar expuestos al calor, los metales no desaparecen. Pueden ser perjudiciales si se ingieren en grandes cantidades. Un metal pesado es cualquier elemento químico metálico que tiene una densidad alta y sea perjudicial en concentraciones incluso mínimas. Algunos ejemplos de metales pesados o metaloides son el Pb, As, Hg, Cd, Cr y Tl, entre otros. Los metales pesados se clasifican en dos grupos:

a. Oligoelementos o micronutrientes: son los que los seres vivos los necesitan en mínimas cantidades, importantes para que los organismos terminen su ciclo de vida. En este grupo tenemos: Mo, Ni, Fe, Se, As, Co, Cr, Cu y Zn.

b. Metales pesados que no tienen función biológica, son aquellos que en ciertas concentraciones en seres vivos originan alteraciones en el funcionamiento del organismo. Entre ellos, se tiene el Cd, Hg, Pb, Bi, Sn, Tl (Serpa, 2017).

**A) Plomo (Pb).** Es un metal característico de color gris, suave, maleable. Todos los compuestos de plomo son nocivos. El plomo es un elemento que lleva aleaciones y aleaciones de soldadura. Con plomo además se realizan: las placas de batería, aparatos para la producción de ácido sulfúrico, cañerías de drenaje de agua, cable eléctrico, perdigones, componentes de misiles. Los compuestos de plomo se utilizan para la fabricación de pinturas y barnices anticorrosivos, pigmentos y morteros, actualmente en caída debido a las propiedades nocivas de estos compuestos. Estos compuestos de plomo son letales y las intoxicaciones agudas son raras. Las intoxicaciones crónicas son principalmente gastrointestinales y del sistema nervioso. Los principales síntomas son cansancio, fatiga, parálisis muscular, borde gris alrededor de los dientes, cólico de plomo. Al mismo tiempo hay proteinuria, hematuria y trastornos cerebrales (Beata, 2014).

**B) Cadmio (Cd).** Es un metal plateado, como el zinc y algo de plomo. El cadmio metálico se usa en la producción de aleaciones, para la preparación de recubrimientos protectores (cadmio) y para la producción de baterías. El cadmio no tiene uso medicinal. Sin embargo, envenenándolo, su vapor o humo se encuentran principalmente en la industria. La absorción de vapores de óxido de cadmio ocurre por inhalación. No presentan olor ni irritación; por lo tanto, pueden ser absorbidos por los seres humanos con gran facilidad y en cantidades peligrosas. Entre los principales síntomas de intoxicación son garganta seca, dolor de cabeza, problema para respirar, insuficiencia cardíaca y alta temperatura corporal. Del tracto digestivo se absorbe muy rápidamente y se deposita principalmente en el hígado y el riñón. Los síntomas de intoxicación ocurren después de 4-5 horas y tienen vómitos persistentes, diarrea intensa y dolencia abdominal. La intoxicación crónica se desarrolla paulatinamente y durante el primer año es asintomática. Después de 5 años recién se presentan dolores musculares articulares, problema para respirar, daño renal, lesiones pulmonares y del sistema esquelético (Draszawka, 2014).

**C) Zinc (Zn).** En el ser humano juega un papel transcendental en una variedad de enzimas y hormonas. Se almacena en el hígado, el páncreas y en la superficie de los glóbulos rojos. En medicina, el óxido de zinc se emplea como fármaco riguroso y germicida. Los síntomas de toxicidad por zinc son: perjuicio al revestimiento de la cavidad nasal; garganta y tracto respiratorio inferior y cambios necróticos en las paredes del estómago, el duodeno y los intestinos. La forma aguda característica de envenenamiento por zinc es una "fiebre de fundición", una enfermedad profesional que les sucede a los trabajadores empleados cuando laboran con zinc calentado a una temperatura cercana a la ebullición (Draszawka, 2014).

### **2.1.2. Aguas Ácidas de Mina**

La formación de drenaje ácido de mina ha sido considerablemente reconocida como uno de los principales problemas ambientales causados por la actividad minera a nivel mundial, como lo manifiestan diferentes estudios. Los minerales responsables de la generación del drenaje de aguas ácidas de minas son los sulfuros de hierro (pirita,  $\text{FeS}_2$  y pirrotita,  $\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$ ), que son estables e insolubles cuando no entran en contacto con el agua y el oxígeno atmosférico. La contaminación se produce cuando estas aguas ácidas alcanzan a los sistemas de aguas superficiales o subterráneas que se utilizan para el consumo humano o industrias, y como consecuencia numerosos cursos de ríos en todo el mundo presentan contaminación por metales debido a procesos de oxidación de sulfuros que tiene lugar en la minería a tajo abierto. La mayoría de los procesos de oxidación que suceden en ambientes naturales originan una transformación simultánea de las propiedades ácido-base del sistema, generalmente aumentando la acidez (Santiago, 2014).

### **2.1.3. Drenaje Ácido de Mina (DAM)**

El drenaje ácido de mina es el resultado de la oxidación de ciertos sulfuros minerales (p. ej., pirita, pirrotita y marcasita) en unión con el oxígeno del aire y agua. Del mismo modo otros oxidantes como el hierro férrico logra substituir al oxígeno del aire en la reacción y en

algunos casos al oxígeno del agua. Los drenajes ácidos de mina además de poseer baja concentración de pH, presentan concentraciones muy altas de sólidos en suspensión con alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Cu, Pb, Hg, Cd y Ni). De modo que, estos elementos en altas concentraciones son dañinos para el hombre y su entorno. A lo largo de los caminos que sigue el agua ocurre una serie de reacciones que modifican la cantidad y calidad de los drenajes. Esto se refleja mejor en una escombrera abandonada (desmonte minero), ausente de vegetación o materiales de cobertera, que tolera un alto grado de infiltración del agua de lluvia, así como la erosión de sus taludes. El agua infiltrada es retenida temporalmente en el interior de la misma y bajo ciertas condiciones biogeoquímicas va a producir la disolución de los materiales, que luego drenan al exterior con concentraciones bajo de pH (1,7-2,3) y escaso oxígeno disuelto (Aduviere, 2006).

#### ***2.1.4. Proceso de Biosorción***

La biosorción es un método fisicoquímico biológico en el que un material biológico, como la biomasa vegetal o los microorganismos, se aprovecha para absorber o adsorber una especie objetivo, como iones metálicos o colorantes. En el proceso de biosorción, se tienen dos fases, la fase sólida a la que se llama sorbente o biosorbente (p. ej., plantas, bacterias y hongos) y la fase líquida que suele ser acuosa y presentar iones metálicos que se les llama sorbato. El lugar principal de biosorción de los adsorbentes biológicos es su pared celular, que contienen una variedad de diferentes grupos funcionales que favorecen en el proceso de biosorción, entre los posibles grupos funcionales son el hidroxilo (que se localizan en alcoholes y carbohidratos), carboxilo (que se hallan en ácidos grasos, proteínas y orgánicos), amino (que se hallan en proteínas y ácidos nucleicos), éster (que se hallan en lípidos), sulfhídrido (que se hallan en cisteínas), carbonilo (aldehídos y polisacáridos) y grupos fosfatos (que se hallan en el ADN, el ARN y el activador tisular del plasminógeno) (Redha, 2020).

Hay diversos tipos de adsorbente; los bosques y las plantas de la Tierra, el plancton de

los océanos y de agua dulce, las algas y los peces, todas las criaturas vivientes, incluidos los animales, son todos biomasa (adsorbentes). Este método de biosorción presenta ventajas en comparación con los métodos convencionales, estas se detallan a continuación (Ramachandra, 2006):

- Barato: el costo del biosorbente es bajo, debido que a menudo se producen con material abundante o de desecho.
- Selectivo de metal y colorante: el rendimiento de remoción del metal y colorante de diferentes tipos de biomasa pueden ser más o menos selectivos para distintos metales. Esto depende de factores, como el tipo de biomasa, el tipo de preparación de la biomasa, la mezcla en la solución y el tratamiento fisicoquímico.
- Regenerativo: debido a que los biosorbentes se pueden reusar, luego que el metal se recicla.
- Sin generación de lodos: no causan problemas secundarios con la generación de lodos, en comparación con otras técnicas, como la precipitación.
- Posibilidad de recuperación de metales: para el caso de los metales, es posible la recuperación después de ser adsorbido de la solución.
- Rendimiento competitivo: la biosorción es capaz de alcanzar un rendimiento semejante al de la técnica más similar, el tratamiento de intercambio iónico. Esta técnica es bastante costosa, lo que hace que el bajo costo de la biosorción sea un factor importante.

#### ***2.1.5. Tipos de Adsorción***

La adsorción es una técnica que enlaza una sustancia por encima de la superficie de otra fase sea sólida o líquida. Por consiguiente, es calificado un fenómeno superficial. La sustancia que se agrupa en la superficie recibe el nombre de adsorbato y la fase que la retiene es llamado adsorbente. Es un fenómeno muy general, sin embargo, solo ciertos sólidos tienen

suficientes características específicas y capacidad de adsorción (García, 2012).

**A. Fisisorción.** También conocido como adsorción física, sucede cuando un átomo o molécula se adsorbe a una superficie sin la formación de un enlace químico. Esta interacción es generalmente la consecuencia de una interacción de Van der Waals entre el adsorbato y el adsorbente. Debido a que las interacciones de Van de Waals son más débiles que los enlaces químicos, las moléculas fisisorbidas se adhieren al adsorbente más débilmente que las moléculas quimisorbidas. Debido a su dependencia de interacciones débiles de Van de Waals, la adsorción física a una superficie es de reversible proceso. También, puesto que el número de moléculas adsorbidos no está limitado por el número de sitios disponibles para la formación de los enlaces químicos adsorbato-adsorbente, los procesos de adsorción física conservan el potencial para la cobertura multicapa, que es la formación de varias capas de moléculas de adsorbato en la superficie. Asimismo, el potencial de la cobertura multicapa deja abierta la posibilidad de que moléculas de gas adsorbidas pueden llenar los poros en una superficie, lo que permitiría determinar el cálculo de volumen de poros (Forrest, 2012).

**B. Quimisorción.** La adsorción química, conocida como quimisorción, empieza cuando una molécula o átomo es adsorbida a una superficie formando un enlace químico. Este proceso puede implicar la formación de diversos enlaces en los que el adsorbato interacciona con múltiples átomos o moléculas del adsorbente. Este proceso de adsorción química puede implicar la formación de un enlace simple entre al adsorbato y adsorbente. Debido que la quimisorción necesita la formación de enlaces entre el adsorbato y el adsorbente, el número de sitios en los que la adsorción puede suceder es limitada. Por ello, la quimisorción se limita a cobertura monocapa. La entalpía (calor de reacción) de quimisorción es frecuentemente mucho mayor que el de la adsorción física; la distancia entre el adsorbato y el adsorbente es a menudo más corto para las moléculas adsorbidas físicamente (Forrest, 2012). En la Tabla 1, se muestran las diferencias entre fisisorción y quimisorción.

**Tabla 1**

*Diferencias entre la adsorción física (fisisorción) y química (quimisorción).*

| Fisisorción  | Quimisorción  |
|--|---|
| Se genera una monocapa o multicapa.  | Se genera una monocapa.   |
| Muestra enlaces débiles. Interacciones de Van der Waals y fuerzas electrostáticas.                       | Muestra enlaces fuertes (enlace químico).   |
| Presenta calor de adsorción bajo.<br>$\Delta H=20-40$ kJ/mol   | Presenta calor de adsorción alto.<br>$\Delta H=200-400$ kJ/mol  |
| Se realiza a temperaturas bajas. Es reversible y las especies que interaccionan conservan su estructura. | Se realiza en intervalo amplio de temperatura. Es irreversible y específico, en donde las especies que interaccionan cambian su estructura. |
| No existe transferencia de electrones, pero puede producirse la polarización del adsorbato.              | Existe transferencia de electrones, con formación de enlace entre el adsorbato y el adsorbente.   |
| No presenta especificidad en cuanto a los sitios de adsorción.   | Se lleva a cabo en puntos específicos de la superficie del adsorbente.  |

Nota: Cortesía de Aylas, 2018.

### 2.1.6. *Isotermas de adsorción*

**A) Isoterma de la adsorción de Langmuir.** La isoterma de adsorción de Langmuir detalla cuantitativamente la formación de una monocapa de adsorbato en la superficie exterior de adsorbente, y posteriormente a ello no posee lugar más de adsorción. Por consiguiente, Langmuir muestra la distribución de equilibrio de los iones metálicos entre las fases sólida y líquida. La isoterma de Langmuir es auténtica para la adsorción de monocapas sobre una superficie que contiene un número limitado de sitios similares. El modelo ejerce energías uniformes de adsorción sobre la superficie y no presenta transmigración de adsorbato en el plano de la superficie, Langmuir representó la siguiente ecuación (Olatunya, 2012):

$$q_e = \frac{Q_o K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

Los parámetros de la adsorción de Langmuir se determinaron transformando la ecuación de

Langmuir en una forma lineal.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_o} + \frac{1}{Q_o K_L C_e}$$

Donde:

$C_e$ = la concentración de equilibrio de adsorbato ( $\text{mg/L}^{-1}$ )

$q_e$ = la cantidad de metal adsorbido por gramo del adsorbente en equilibrio ( $\text{mg/g}$ )

$Q_o$ = capacidad máxima de cobertura en monocapa ( $\text{mg/g}$ )

$K_L$ = constante de isoterma de Langmuir ( $\text{L/mg}$ )

Los valores de  $q_{\max}$  y  $K_L$  se determinaron a partir de la pendiente y la intersección de la gráfica de Langmuir  $1/C_e$ . Las características principales de la isoterma de Langmuir pueden expresarse en términos del parámetro de equilibrio  $R_L$ , que es una constante adimensional llamada factor de separación o parámetro de equilibrio (Olatunya, 2012).

$$R_L = \frac{1}{1 + (1 + K_L C_o)}$$

Donde:

$C_o$ = constante inicial.

$K_L$ = la constante relacionada con la energía de adsorción (Langmuir Constante).

El valor de  $R_L$  indica que la naturaleza de adsorción es desfavorable si  $R_L > 1$ , lineal si  $R_L = 1$ , favorable si  $0 < R_L < 1$  e irreversible si  $R_L = 0$ .

**B) Isoterma de la adsorción de Freundlich.** También llamada ecuación de Freundlich, esto se utiliza comúnmente para describir las características de la superficie heterogénea. Estos datos a menudo se ajustan a la ecuación empírica propuesta por Freundlich (Olatunya, 2012).

$$Q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

$K_f$ = constante de isoterma de Freundlich ( $\text{mg/g}$ ).

$n$  = intensidad de adsorción.

$C_e$  = la concentración de equilibrio de adsorbato (mg/L).

$Q_e$  = la cantidad de metal adsorbido por gramo del adsorbente en equilibrio (mg/g).

Linealizando la ecuación de Freundlich, se obtendría de la siguiente manera (Olatunya, 2012):

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$

La constante de  $K_f$  es un indicador aproximado de la capacidad de adsorción, mientras que  $1/n$  es una función de la fuerza de adsorción en el proceso de adsorción. Si  $n=1$ , entonces la partición entre las dos fases es independiente de la concentración. Si el valor de  $1/n$  está por debajo de uno, indica una adsorción normal. Por otra parte, si  $1/n$  se encuentra por encima de uno muestra una adsorción cooperativa. La función tiene un máximo asintótico a medida que aumenta la presión sin límite. A medida que aumenta la temperatura, las constantes  $k$  y  $n$  cambian para expresar la observación empírica de que la cantidad adsorbida aumenta más lentamente y se requieren presiones más altas para saturar la superficie. Sin embargo,  $K_f$  y  $n$  son parámetros característicos del sistema sorbente-sorbato, que deben determinarse mediante el ajuste de los datos y mientras que la regresión lineal se utiliza generalmente para determinar los parámetros de los modelos cinéticos e isotérmicos, el método de mínimos cuadrados lineales y las ecuaciones transformadas linealmente se han aplicado considerablemente para correlacionar los datos de sorción donde  $1/n$  es un parámetro de heterogeneidad, cuanto más pequeño es  $1/n$ , mayor es la heterogeneidad esperada. Esta expresión se reduce a una isoterma de adsorción lineal cuando  $1/n = 1$ . Si  $n$  está entre uno y diez, esto indica un proceso de sorción favorable (Olatunya, 2012).

### **2.1.7. Características del coco (*Cocos nucifera L.*)**

El coco tiene una extensa distribución geográfica. En un panorama presente en todas las regiones tropicales y subtropicales. Asimismo, se localizan fuera de estas latitudes, donde

florecerá, pero los frutos no llegarán a desarrollarse con normalidad. No es intrusivo, y los seres humanos han sido en gran parte los causantes de su propagación, especialmente tierra adentro desde su hábitat natural. Prospera en condiciones cálidas y húmedas, pero resiste en períodos breves de temperaturas por debajo de los 21 °C (Chan, 2006).

**A. Tamaño.** Una corona de frondas nace de un solo tallo no ramificado con desarrollo aéreo desde un solo punto de crecimiento. Una palmera de 40 años puede conseguir una altura de 20 a 22 m, y una palmera de 80 años puede alcanzar una altura de 35 a 40 m, el dosel tiene un diámetro de 8 a 9 m (Chan, 2006).

**B. Forma.** Las hojas de una palma madura y vigorosa detallan una esfera y se distribuyen uniformemente en todas las direcciones desde la punta en crecimiento. En las palmas de mucho porte, el peso de las nueces puede provocar hacia abajo las hojas horizontales, lo que da como consecuencia un dosel en forma de X en el que las hojas no se mantienen en una posición casi horizontal (Chan, 2006).

**C. Fruta.** La fruta es una drupa fibrosa desde el exterior hacia adentro, una piel delgada y dura (exocarpio), una capa más gruesa de mesocarpio fibroso (cáscara), el endocarpio duro (cáscara), el endospermo blanco (núcleo) y una gran cavidad llena de líquido (agua). Cuando es inmaduro, el exocarpio suele ser verde, a veces de bronce (Chan, 2006).

#### ***2.1.8. Grupos funcionales presentes en la cáscara de coco***

Las fracciones de cáscara de coco son residuos lignocelulósicos que están compuestos por celulosa, hemicelulosa y lignina; estos son los bloques primarios de la pared celular. Además, poseen pequeñas cantidades de pectina, proteínas, vitaminas, carbohidratos, enzimas, agua, lípidos y una pequeña porción de cenizas. El hecho de poseer esta variedad de componentes, hace que también estén presentes diversos grupos funcionales, como amino, carbonilo, fenólico, amida, carboxílico, éster, etc. (Zarate, 2015).

### **2.1.9. Depósito de Relaves Quiulacocha**

El depósito de relaves Quiulacocha, es un pasivo ambiental minero, que se encuentra ubicado en el anexo de Quiulacocha, distrito de Simón Bolívar, Provincia Pasco y Región Pasco a 4340 m.s.n.m., y cuenta con aproximadamente 79 millones de toneladas de relave, en un área de 114 hectáreas, compuestos por sulfuros, arsénico, plomo, óxidos de fierro, entre otros compuestos metálicos, producto de la explotación polimetálica de la actividad minera que se detuvo el año 1992 luego de 50 años de operación. Los relaves de Quiulacocha están parcialmente cubiertos por el vertedero de roca estéril Excélsior, que contiene alrededor de 26 400 000 m<sup>3</sup> de rocas estériles (Bernhard, 2006).

### **2.1.10. Proceso de Coagulación, Floculación y Precipitación Química**

El proceso de coagulación/floculación, es uno de los procesos más importantes en el tratamiento de agua, se emplea generalmente para remover sólidos suspendidos del agua, ya sea agua que se someterá a proceso de potabilización o agua residual. Los compuestos de coagulación/floculación más común son: alumbre, cloruro férrico y polímeros de cadena larga. La coagulación consiste en reducir la carga eléctrica de las partículas suspendidas. Las partículas de aguas residuales generalmente están cargadas negativamente. Las cargas eléctricas similares generan fuerzas de repulsión que promueven la suspensión de las partículas. El proceso de coagulación reduce la carga negativa, contribuyendo a la agregación de partículas para formar microflóculos. La floculación consiste en la agregación de partículas para formar flóculos más grandes. La sedimentación comprende la precipitación de sólidos, incluyendo los sólidos debidos a la contaminación y los sólidos generados por los químicos. La floculación depende de la temperatura y el pH del agua (Trujillo, 2014).

## 2.2. Marco Conceptual

### 2.2.1. Definición de Términos

#### a) Biosorción:

Es un término general que describe la eliminación de contaminantes mediante su unión a un material de origen biológico (biomasa), elemento principal del proceso de biosorción. (Torres, 2020)

#### b) Metales pesados:

Es un metal con una densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup> (es decir, gravedad específica superior a 5). Se utiliza a menudo como nombre de grupo para metales y semimetales (metaloideos) que se han asociado con contaminación y toxicidad potencial o ecotoxicidad. (Hazrat, 2019)

#### c) Cocos nucifera:

Cocos nucifera L., mercedamente llamada “el árbol de la vida” es una planta de gran porte y belleza, apreciada por muchas culturas alrededor del mundo por su valioso valor económico, social y cultural. En su etapa adulta, el cocotero puede lograr una altura de 25 metros aproximadamente, y en casos excepcionales, cerca de 30 metros, dependiendo de las condiciones ecológicas y de la edad. (Limonos y Fernández, 2016)

#### d) Biosorbente:

Son elementos de origen natural en cantidades abundantes, o algunos productos desechados de los procesos de producción sea agrícolas o industriales, que puedan ser aprovechados o reutilizados por su bajo costo, con el propósito de capturar contaminantes como son los metales pesados. (Córdoba, 2013)

#### e) Contaminación:

Es la combinación de sustancias o la repartición de un elemento químico en un espacio no deseado como el ecosistema (aire, agua y suelo), de manera que pueda ser capaz de originar

alteraciones nocivas al entorno o medio ambiente y a la salud humana. (MINAM)

**f) Dosis:**

Cantidad de una sustancia útil que interactúa con el proceso metabólico o biológico de los receptores una vez que ha cruzado las barreras externas del organismo. (MINAM)

**g) Tratamiento:**

Conjunto de procedimientos (técnicas, métodos o procesos) diseñados para la expulsión de sustancias tóxicas sólidas y/o contaminantes de efluentes líquidos (aguas residuales industriales, sanitarias, etc.) o emisiones gaseosas. (MINAM)

**h) Drenaje Acido de Mina (DAM):**

Es un agua residual metálica ácida, con alta concentración de azufre, que tiene como origen en la descarga de minas en operación o abandonadas. Usualmente, el DAM se caracteriza por presentar alta acidez (2 a 4 pH) y concentraciones elevadas de metales pesados como el hierro, manganeso, cobre, plomo, magnesio y níquel (Wee, 2020).

### 2.3. Marco Legal Ambiental

- ***La Constitución Política del Perú – Título I, Capítulo I: De los Derechos Fundamentales de la Persona.*** La Constitución Política del Perú de 1993, en el inciso 22 del artículo 2°, hace mención que “Unos de los derechos fundamentales que tiene toda persona es a la calma, la tranquilidad, al placer del tiempo libre y al reposo, de manera similar a disfrutar de un medio ambiente estable, equilibrado y apropiado para el desarrollo de su vida”. Hay que mencionar, además que en los artículos 66°, 67°, 68° y 69° (Capítulo II) indican que el Estado posee la autoridad máxima en su aprovechamiento de los patrimonios de la Nación (recursos naturales, renovables y no renovables), y de fomentar el desarrollo sostenible de los recursos.
- ***Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991; En el título XIII, Capítulo I: Delitos Ambientales.*** Indican las penas privativas de libertad aquellas personas que infringen leyes, reglamentos o provoquen vertimientos de desechos sin previo tratamiento y

excedan los límites máximos permisibles, emisiones de gases tóxicos, y como consecuencia pueda causar perjuicio o daño al medio ambiente (suelo, atmósfera y las aguas terrestres, marítimas o subterráneas). Con mayor penalidad si el infractor es funcionario o servidor público.

➤ ***Ley General de Salud N° 26842, del año 1997.*** Contempla la competencia del Estado frente al cuidado de la salud humana y del ambiente. Por ejemplo, en el artículo VI del artículo 96°, expresa lo siguiente; que debe tomarse la cautela y las medidas indispensables en el manejo y disposición de sustancias y productos peligrosos, de este modo evitar el deterioro a la salud humana o al ambiente. De modo similar, los artículos 99° del artículo VI y 104°, 107° del Capítulo VIII, hacen mención sobre las descargas de desechos o sustancias contaminantes y responsabilidades sea de personas naturales o jurídicas, a prohibir las descargas de elementos nocivos al medio ambiente (agua, aire o suelo).

➤ ***La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611, Conforme al Artículo I (Del derecho y deber fundamental).*** Establece que, para el pleno desenvolvimiento de la vida, toda persona tiene el derecho irrenunciable en habitar un ambiente sano, armónico y apropiado para el completo desarrollo de la existencia. También, el compromiso de colaborar a una correcta gestión y protección del medio ambiente incluido sus componentes; garantizando específicamente el bienestar de los seres humanos, la perduración de la variedad biológica y la utilización racional de los recursos naturales sin comprometer las necesidades del presente y futuras generaciones.

En el Artículo 9, establece como finalidad de la Política Nacional del Ambiente, el mejoramiento de la calidad de vida del ser humano y asegurar la estabilidad y duración de un ecosistema sano, factibles y prácticos a un periodo de tiempo largo, y el desarrollo sostenible del país; a través de la conservación, vigilancia y restauración del medio ambiente con sus elementos, la preservación y utilización equitativa de los recursos naturales, de forma

responsable y coherente acatando los derechos esenciales del ser humano.

En su Artículo 31, en relación al ECA (Estándar de Calidad Ambiental), lo detalla como: La cantidad que fija el nivel o grado de concentración de elementos, sustancias o parámetros fisicoquímicos y biológicos, que se encuentran en el ecosistema (aire, agua o suelo), en su posición de cuerpo receptor, de manera que no presente riesgo considerable para degradar el bienestar del ser humano ni al medio ambiente.

Acorde al Artículo 114. Señala que el acceso al agua para el uso del humano es un derecho fundamental de la población, y que corresponde al Estado garantizar el cuidado y protección de aguas que se utilizan para el suministro de la población, sin afectar los compromisos que competen a los particulares. En caso de carencia del agua, el Estado garantiza el uso prioritario del recurso para la distribución de las necesidades de la población, ante otros usos secundarios.

Acorde al Artículo 120. Enfatiza que, el cuidado y la protección del recurso hídrico es deber del Estado. De modo que la Nación fomenta el tratamiento de las aguas contaminadas (residuales) con el propósito de volverlos utilizar, considerando la importancia de obtener la calidad suficiente para su reúso, y no afecte a la salud humana, al entorno o las actividades en las que se puedan reutilizar.

Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009, esta ley tiene como objetivo normalizar el consumo y gestionar de forma integral el agua, la participación del gobierno y sectores privados en la gestión, fundamentándose en los siguientes principios: Prioridad en el acceso al agua, valoración y gestión integrada del agua, la prioridad en el acceso al agua, cooperación de los pobladores y cultura del agua, protección jurídica, respecto por las comunidades campesinas y nativas sobre la utilización del agua, sostenibilidad, descentralización, precautorio, eficacia, gestión integrada y protección jurídica; de menara que se ha creado el Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos con el objetivo de

organizar las acciones por parte del Estado; siendo la Autoridad Nacional de Agua (ANA) la entidad superior y máxima autoridad técnica normativa, esta organización está integrada por el Consejo Directivo, Jefatura, Tribunal de Controversias Hídricas, Órganos descentralizados (Autoridades Administrativas del Agua, Administraciones Locales de Agua) y órganos de apoyo.

Los propietarios con derecho a la utilización del recurso hídrico están en la obligación a cooperar a la sostenibilidad y eficiencia del recurso por medio de los siguientes pagos; retribución económica por el uso del agua, retribución por el vertimiento de uso de agua residual, por el servicio de distribución del agua en los usos sectoriales, por la utilización de la infraestructura hídrica y tarifa por monitoreo y gestión de uso de aguas subterráneas.

La presente ley invalida el Decreto Ley N° 17752, Ley General de Aguas y su reglamento el Decreto Supremo N° 261-69-AP.

➤ **Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N° 001-2010 – AG.** En su Artículo 103, menciona que los objetivos ante la protección de los recursos hídricos son: la prevención al deterioro de su calidad, la protección y mejora del estado del agua de fuentes naturales y ecosistemas acuáticos; y finalmente de disponer normas específicas para anular o mitigar progresivamente los agentes causantes de la contaminación y degradación.

➤ **D.L N° 1083-2008-ANA.** Este decreto legislativo tiene como finalidad decretar el marco normativo para fomentar la utilización eficaz y la preservación de los recursos hídricos, motivando de esta manera el desarrollo de una educación de uso eficiente y responsable del recurso agua entre todos los usuarios y ejecutores de infraestructura hídrica, sea privada o pública. De manera que, se establecen Parámetros de Eficiencia atribuible al uso del recurso hídrico, en conformidad con la Política Nacional del Ambiente. Estos Parámetros establecen las condiciones mínimos y máximos que se aplican a cada modelo de utilización de los recursos hídricos. El cumplimiento con los Parámetros de Eficiencia por parte de los

usuarios y operadores de infraestructura hidráulica (públicos y privados); la Autoridad Nacional del Agua (ANA) concederá “Certificados de Eficiencia”, instrumento que certifica el aprovechamiento eficaz de recurso hídrico. Además, otorgará el “Certificados de Creatividad, Innovación e Implementación para la Eficiencia de Uso del Agua” a los usuarios que planteen, desarrollen o apliquen equipos, métodos o tecnologías que aumenten la eficiencia en el uso del recurso agua. De igual modo, a fin de impulsar el uso eficiente y la conservación del recurso hídrico por parte de los usuarios, la Autoridad Nacional de Agua promoverá los Incentivos Institucionales, por ejemplo: organizar concursos de mejores prácticas, hacer pasantías, entregar premios, propagar experiencias exitosas e impulsar la utilización de equipos tecnológicos innovadoras. Por otra parte, aquellos usuarios y operadores que incumplen los Parámetros de Eficiencia, deberán de entregar un Plan de Adecuación para el Aprovechamiento Eficiente de Recursos Hídricos con el objetivo de reducir sus consumos anuales, hasta cumplir los Parámetros de Eficiencia en un lapso de tiempo no mayor de 5 años. Asimismo, el ANA fomenta la reversión de los excedentes de recursos hídricos, es decir la preferencia en el otorgamiento de nuevos derechos de uso de agua sobre los excedentes recursos hídricos, para aquellos usuarios u operadores que cuenten con el Certificado de Eficiencia y generen excedentes de recursos hídricos.

➤ ***Decreto Supremo N°003-2009-EM, que modifican Reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera del Decreto Supremo N° 050-2005-EM.*** En su Artículo 5°, hace mención que toda entidad que haya generado pasivos ambientales mineros está obligada a presentar el Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros ante el Ministerio de Energía y Minas (MIMEM). Además, la Dirección General de Minería (DGM) es competente para identificar a los generadores de pasivos ambientales mineros responsables de su remediación. Dicha responsabilidad se determinará mediante resolución directoral en la que también se precisarán las infracciones en las que dicho responsable habría incidido.

➤ ***Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y constituyen Disposiciones Complementarias.*** Esta norma tiene por finalidad la compilación de las medidas aprobados mediante Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N°023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N°015-MINAM, que los Estándares de Calidad Ambiental para el recurso agua, de esta manera queda sujeto a lo fijado en el presente Decreto Supremo y el anexo que es parte integrante del mismo.

Las categorías determinadas para los estándares de calidad ambiental para agua son:

- Categoría 1: Poblacional y Recreacional.
- Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.
- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

➤ ***Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas.*** En el Artículo 3°, puntualiza al Límite Máximo Permisible como la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, que al sobrepasar puede causar daños a la salud humana y al medio ambiente.

**Tabla 2**

*Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicos.*

| Parámetro                     | Unidad | Límite en cualquier momento | Límite para el promedio anual |
|-------------------------------|--------|-----------------------------|-------------------------------|
| pH                            |        | 6-9                         | 6-9                           |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L   | 50                          | 25                            |
| Aceites y grasas              | mg/L   | 20                          | 16                            |
| Cianuro total                 | mg/L   | 1                           | 0.8                           |
| Arsénico total                | mg/L   | 0.1                         | 0.08                          |
| Cadmio total                  | mg/L   | 0.05                        | 0.04                          |
| Cromo hexavalente(*)          | mg/L   | 0.1                         | 0.08                          |
| Cobre total                   | mg/L   | 0.5                         | 0.4                           |
| Hierro (disuelto)             | mg/L   | 2                           | 1.6                           |
| Plomo total                   | mg/L   | 0.2                         | 0.16                          |
| Mercurio total                | mg/L   | 0.02                        | 0.0016                        |
| Zinc total                    | mg/L   | 1.5                         | 1.2                           |

(\*) En muestra no filtrada

Nota: D.S. N° 010-2010-MINAM

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de investigación

La presente investigación tuvo un planteamiento metodológico de enfoque cuantitativo; en vista de que, se analizó datos numéricos para la comprobación de la hipótesis establecida previamente.

Es una investigación de tipo aplicada, puesto que, se propuso una solución al problema planteado apoyándose de una investigación básica. De acuerdo con nuestro planteamiento se pretende remover metales pesados (plomo, cadmio y zinc) mediante la aplicación de la técnica de biosorción de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*) en muestras de agua de la relavera Quiulacochoa.

El diseño de la investigación es experimental-transversal; dado que, sucedió manipulación de variable independiente (método de biosorción de la cáscara de coco) para producir un efecto en la variable dependiente (remoción de plomo, cadmio y zinc), luego medir el efecto antes y después de la aplicación.

#### 3.2. *Ámbito temporal y espacial*

##### 3.2.1. *Ámbito temporal*

La presente investigación se desarrolló en tres etapas; inicialmente, con la búsqueda de información, luego con una etapa de desarrollo experimental y finalmente con la elaboración del informe. El plan de tesis inició con una indagación de información bibliográfico en relación al tema de investigación en el mes junio del 2022, de manera que se contempló investigaciones entre los años 2006 y 2022, luego una etapa para los ensayos experimentales entre los meses de julio y agosto del 2022, finalmente el informe final para el mes de octubre del 2022.

##### 3.2.2. *Ámbito espacial*

Para el desarrollo de la presente investigación, la muestra de agua para su análisis,

considerando que presenta elevadas concentraciones de metales pesados, se recolectó del depósito de relaves Quiulacocha de coordenadas geográficas: 359777 E y 8816634 N, que es la zona de descargue de lodos de la planta de neutralización de la unidad minera Cerro S.A.C en Cerro de Pasco. En cuanto al desarrollo de toda la fase de la experimentación, se realizó en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo de la Universidad Nacional Federico Villarreal, cuyas coordenadas geográficas del lugar están dadas por: 277097 E y 8667468 N.

### **3.3. Variables**

#### **3.3.1. *Variable Independiente***

Biosorción de la cáscara de coco (*Cocos nucifera*).

#### **3.3.2. *Variable Dependiente***

Remoción de metales pesados (plomo, cadmio y zinc).

**Tabla 3**

*Operacionalización de Variables de Investigación.*

| Variables  | Definición Conceptual   | Definición Operacional  | Dimensiones            | Indicadores             | Escala       |
|--|---|---|------------------------|-------------------------|--------------|
| <b>V.I</b><br>Biosorción de la cáscara de coco ( <i>Coco Nucifera</i> ). | La biosorción es un método fisicoquímico biológico en el que un material biológico, como la biomasa vegetal o los microorganismos, se aprovecha para absorber o adsorber una especie objetivo, como iones metálicos o colorantes (Redha, 2020)  | Se desarrolla en dos fases; una fase sólida, constituido por el biosorbente de la cáscara de coco ( <i>Cocos nucifera</i> ), esto se obtendrá luego de un pretratamiento de recolección de materia prima, lavado, secado, activación química, molienda y tamizado. Y una fase líquida, representada por la muestra de agua de la relavera Quiulacocho; que contiene los metales pesados a remover, que se conocen como sorbato. | VARIABLES DE OPERACIÓN | Volumen                 | L            |
|  |   |   |                        | Tiempo                  | Minutos      |
|  |   |   |                        | Revoluciones            | rpm          |
|  |   |   | BIOSORBENTE            | Concentración           | g            |
|  |   |   |                        | Dosis                   | ml           |
| <b>V.D</b><br>Remoción de metales pesados (plomo, cadmio y zinc).        | Los métodos no convencionales para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas son adsorbentes de bajo costo y nuevos adsorbentes, adsorción de metales pesados por materiales naturales agrícolas e industriales, fitorremediación, biopolímeros, hidrogeles y ceniza volante (Caviedes, 2015).<br><br>El método expresa remoción de una extendida variedad de contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y posiblemente selectiva, dependiendo del adsorbente; que también depende su rendimiento, principalmente por la estructura física del mismo (Caviedes, 2015). | Se lleva a cabo en la prueba de jarras, de manera que permitió mediante la observación identificar el compartimiento del biosorbente (cáscara de coco) empleado a diferentes dosis en cada jarra; se ejecuta en tres fases de tratamiento que dependió del factor concentración y dosis. Asimismo, se analiza en volúmenes constantes de 1 litro de muestra, con 5 dosis diferentes y 2 repeticiones en cada tratamiento.       | PARAMETROS FÍSICOS     | Temperatura             | °C           |
|  |   |   |                        | Conductividad Eléctrica | uS/cm        |
|  |   |   |                        | Potencial de hidrógenos | Unidad de pH |
|  |   |   | PARAMETROS QUÍMICOS    | Pb, Cd y Zn             | mg/l         |
|  |   |   |                        | Eficiencia              | %            |

Nota: Tabla de Autoría Propia

### **3.4. Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

Para el estudio de investigación se consideró trabajar con muestras representativas extraídas de la relavera Quiulacocha. La población corresponde al volumen total de agua del depósito de relaves Quiulacocha, distrito de Simón Bolívar, Cerro de Pasco.

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra que se analizó para el estudio de investigación está de acuerdo con el volumen de muestra de agua a ser tratado en el floculador programable (test de jarras); de manera que se trabajó con un volumen de 30 litros obtenidas del depósito de relaves Quiulacocha. Se utilizó un (01) litro de volumen por muestra, donde cada ensayo fue de 5 litros, adicional con una repetición, de esta manera se utilizó por tratamiento un volumen total de 10 litros.

### **3.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos**

#### **3.5.1. Técnicas**

- Protocolo de monitoreo para toma de muestras.
- Protocolo de seguridad de laboratorios.
- Métodos Estandarizados para análisis de tratamiento de agua.

#### **3.5.2. Instrumentos**

- Cadena de Custodia.
- Métodos Normalizados.
- Fichas de recolección de datos.

#### **3.5.3. Equipos y materiales**

- Floculador Programable (Test de Jarras).
- Espectrómetro de Absorción Atómica.
- Estufa de secado.

- Multiparámetro de mesa.
- GPS.
- Preservantes, frascos.

### **3.6. Procedimiento**

Para el presente trabajo de investigación se planteó desarrollarlo en cinco etapas sucesivas. En primer lugar, el muestreo en campo, que consistió en la toma de muestras de agua del depósito de relaves Quiulacocha. En segundo lugar, la caracterización de los parámetros de análisis (físicoquímicos). En tercer lugar, la preparación del biosorbente natural a base de la cáscara de coco. En cuarto lugar, la prueba de jarras, que se llevó a cabo en laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE) de la Universidad Nacional Federico Villarreal (UNFV). Finalmente, se determinó los parámetros de análisis luego del proceso de tratamiento, con equipo de absorción atómica.

#### **3.6.1. Toma de muestras**

El procedimiento se inició con el muestreo en campo, que consistió en la toma de muestras de agua del depósito de relaves Quiulacocha, procedentes de la planta de neutralización de aguas acidas de la Unidad Minera Cerro S.A.C, en Cerro de Pasco. Para ello, se desarrolló en cumplimiento al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas Residuales Domesticas o Municipales (R.M. N° 273-2013-VIVIENDA). De manera que, el tipo de muestra fue puntual, que consistió en la toma de una porción de agua en un punto o lugar determinado. Asimismo, la norma indica que los materiales (frascos y/o recipiente) a considerar para el muestreo deberán ser de primer uso y limpios. Las muestras se recolectaron en 3 galones de 12 litros aproximadamente; seguidamente se procedió con su preservación, el rotulado con toda la información que requiere la matriz y finalmente con el traslado de las muestras al laboratorio de Geografía y

Medio Ambiente de la FIGAE, en vista de que se cumpla con todos detalles mínimos que aseguren la representatividad de las muestras.

### **3.6.2. Caracterización de parámetros**

Las primeras pruebas que se realizó en el laboratorio para la caracterización de las muestras de agua obtenidas del depósito de relaves Quiulacocha, donde se utilizó equipos especializados como el potenciómetro HANNA (EDGE) y el equipo espectrofotómetro de absorción atómica THERMO ELECTRO CORPORATION, fueron los parámetros fisicoquímicos, entre ellos: Temperatura (°C), Potencial de Hidrógenos (pH), Conductividad Eléctrica y Metales Pesados (Plomo, Cadmio y Zinc). Los resultados del análisis fueron comparados con los Límites Máximo Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividad Minero-Metalúrgicas (D.S. 010-2010-MINAM).

### **3.6.3. Procedimiento de obtención del biosorbente de coco**

**A. Recolección de la materia prima:** La obtención del material es una parte importante, de manera que se seleccionó considerando el buen estado de estos, realizando la separación de los que presentaban coloración oscura, mohos (hongos) u otras evidencias notables que demostraban una posible descomposición de la materia prima. Estos se recolectaron en locales de venta de productos comestibles del fruto.

**B. Secado:** Luego para la obtención de las fibras de la cáscara coco, de forma manual se procedió con el retiro de la corteza verde y de la parte rígida interna y se expusieron al sol para el secado a temperatura ambiente durante 72 horas aproximadamente.

**C. Lavado:** Luego del secado, las fibras secas pasaron el proceso de lavado con agua destilada, con la finalidad de eliminar posibles restos de impurezas o elementos extraños que se encuentran adheridos a esta.

**D. 2° Secado:** Se realizó el secado en una estufa J. Ovens a una temperatura de 105 °C durante 4 horas con el propósito de eliminar el excedente de humedad presente en las

fibras de coco, de modo que mejora el proceso y con la finalidad que el calor se distribuya homogéneamente a todo el material, se realizó la separaron de las fibras entre sí abarcando en toda el área de la bandeja metálica de la estufa.

**E. Activación química:** En esta etapa se utilizó para la activación el ácido clorhídrico, de modo que se preparó 500 ml de solución de ácido clorhídrico (HCl) a 0.5 M; para ello se usó una cantidad de 20.27 ml del ácido en un litro de agua destilada. Seguidamente en vasos de precipitación de 1 litro se agregaron 50 gr de fibra del coco seca y 500 ml de la solución de HCl (0,5 M). Finalmente, la fibra estuvo en contacto con la solución preparada por un periodo de tiempo de 12 horas, después de la activación se procedió a lavarlos con agua destilada y se ajustó el pH hasta obtener el valor deseado (entre 5 a 7).

**F. 3° Secado:** Luego de su activación química, se procede a eliminar el contenido de agua presente en las fibras de coco, se colocó las fibras en la estufa J. Ovens durante 2 horas a una temperatura de 105 °C.

**G. Molienda:** Con un mortero se procedió a moler las fibras de coco activada, hasta conseguir partículas finas y convertirlos en polvo.

**H. Tamizado:** En este proceso la finalidad es de obtener partículas de tamaños uniformes; de modo que el material biosorbente pulverizado pasó por un proceso de tamizaje (Marca: RETSCH), de abertura de malla 180  $\mu\text{m}$  (N° 80).

#### **3.6.4. Preparación de muestras y la dosificación del biosorbente de coco**

Los ensayos se desarrollaron en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE), bajo un ambiente adecuado vigilado por el tesista. Se inició con el proceso de la preparación de las muestras del depósito de relaves Quiulacocho; de modo que los 30 litros de muestra fueron filtrados en papel filtro de agua para la separación de partículas extraños presentes en la muestra que pudiera alterar el análisis. Para la preparación del floculante natural (biosorbente de coco), las

cantidades que se utilizaron del biosorbente pulverizado de coco fueron de 5g, 10g y 20g, los cuales se emplearon para preparar soluciones a concentraciones de 5000 ppm, 10000 ppm y 20000 ppm. Estos se utilizaron en dosis de 20 ml, 40 ml, 60 ml, 80 ml y 100 ml en cada una de las jarras a ensayar.

### **3.6.5. Prueba de Jarras**

Luego de obtener el análisis preliminar de la muestra y el biosorbente natural, se procedió a emplear el método de jarras o Test de Jarras. Se realizó en tres fases de tratamiento que dependió del factor concentración y dosis. En el primer tratamiento, se consideró trabajarlo con 5000 ppm de floculante, el segundo tratamiento con 10 000 ppm de floculante y finalmente el tercer tratamiento se trabajó con 20 000 ppm de floculante. Es así que para los tres tratamientos se acondicionaron 5 jarras con un volumen constante de un (01) litro de muestra, con 5 dosis diferentes del biosorbente de coco, que fueron de 20 ml, 40 ml, 60 ml, 80 ml y 100 ml y se ejecutó una repetición en cada tratamiento.

La presente prueba de Test de Jarras se desarrolló en el equipo de laboratorio programable PHIPPS&BIRD; con una programación para la agitación de revolución rápida a 250 revoluciones por minuto (rpm), por un periodo de tiempo de 30 minutos. Luego se continuó la etapa de la sedimentación por otro periodo de tiempo de 30 minutos para cada caso, seguidamente se procedió con la toma de muestra tratada sobrenadante para su posterior análisis.

Las concentraciones de las muestras en estudio, muestras del depósito de relaves, inicialmente fueron 0.586 mg/L de Plomo, 0.472 mg/L de Cadmio y 22.114 mg/L de Zinc. Se obtuvieron con la finalidad de permitir hallar la dosis ideal que permita lograr cumplir con los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero-Metalúrgicos (D.S. N°010-2010-MINAM); también, determinar las eficiencias logradas en cada prueba.

### **3.6.6. *Análisis de la muestra después del tratamiento***

Luego del proceso del tratamiento con la prueba de jarras, se procedió con el análisis de las muestras del sobrenadante.

Los volúmenes de las muestras a tomar del sobrenadante para la determinación de los metales pesados de Plomo, Cadmio y Zinc de cada jarra fueron de 100 ml, estas muestras previo a su análisis se llevó a un proceso de digestión con ácido nítrico al 5%, realizado en la placa o plancha de calentamiento THERMO SCIENTIFIC (TYPE 220) a una temperatura de 105 °C por un periodo de 4 horas; de manera que la evaporación alcance consumir el 75 % del volumen, quedando entre 20 a 25 ml aproximadamente del volumen de muestra, para luego llevar a enrasar a 100 ml con agua destilada. Finalmente llevadas a ser leídas mediante la técnica de absorción atómica por el equipo espectrofotómetro de absorción atómica.

Previamente a las lecturas de las muestras con el equipo de absorción atómica, se procedió a realizar la curva de calibración con concentraciones de estándares conocidas de 0.0 mg/l, 0.5 mg/l, 1.0 mg/l y 2.0 mg/l, que fueron elaboradas a partir de soluciones patrones de Plomo, Cadmio y Zinc de 50 mg/l.

### **3.6.7. *Análisis de datos final***

En esta etapa, parte final de la investigación, luego del proceso de las pruebas de jarras y la determinación de las concentraciones del Plomo, Cadmio y Zinc en el equipo de espectrofotómetro de absorción atómica, se llevó a cabo la evaluación los resultados. Los datos obtenidos durante el ensayo, fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles. Asimismo, se evaluó el tratamiento de manera general, como la determinación de las dosis óptimas del biosorbente en el tratamiento, en relación a cada uno de las concentraciones determinadas (inicial y final) de los metales en estudio.

Del mismo modo, se evaluó las eficiencias obtenidas de acuerdo a las concentraciones (dosis) utilizadas para cada muestra en estudio; por último, a la elaboración de las tablas y

figuras de acuerdo a cada caso en estudio (Pb, Cd y Zn) con el propósito de analizar el comportamiento de las dosis óptimas registradas y sus eficiencias respectivas. Luego del análisis se procederá a realizar la discusión de acuerdo con otras investigaciones, y finalmente a obtener las conclusiones para nuestro trabajo de investigación.

## IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de la muestra de agua del depósito de relaves Quiulacocho, también las concentraciones finales después del tratamiento con el biosorbente a partir de la cáscara de coco y posteriormente las eficiencias alcanzadas culminado el tratamiento final.

### 3.7. Caracterización fisicoquímica del efluente del depósito de relaves Quiulacocho

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de la muestra agua del efluente del depósito de relaves Quiulacocho, estos fueron cotejados con los valores establecidos de los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM).

**Tabla 4**

*Resultados de la caracterización del efluente del depósito de relaves.*

| MUESTRA | T (°C) | pH   | CE<br>(mS/cm) | TDS<br>(g/l) | Pb<br>(mg/l) | Cd<br>(mg/l) | Zn<br>(mg/l) |
|---------|--------|------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| M-1     | 9.5    | 2.48 | 15.54         | 7.8          | 0.586        | 0.472        | 22.114       |
| LMP*    | -      | 6-9  | -             | -            | 0.2          | 0.05         | 1.5          |

(\*): Límite Máximo Permisible (D.S N° 010-2010-MINAM)

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede apreciar que el nivel de pH se encuentra por debajo del Límite Máximo Permisible con un valor de 2.48, mientras que las concentraciones de Plomo, Cadmio y Zinc se encuentran por encima de los LMP con valores de 0.586 mg/l, 0.472 mg/l y 22.114 mg/l respectivamente.

### 4.1. Resultados de la dosis óptima con cáscara de coco en la remoción de Plomo

En las tablas que continúan se muestran los resultados logrados en los tres sistemas de tratamiento en medio ácido, con pH inicial de 2.48 los que se trabajaron con duplicado y se elaboraron tablas y figuras basados en los promedios alcanzados, de modo que se pueda observar el comportamiento asumido. Se empleó el biosorbente de cáscara de coco, y para el tratamiento de Pb se emplearon tres concentraciones distintas de 5000, 10000 y 20000 ppm;

con dosificaciones de 20, 40, 60, 80 y 100 ml por cada concentración, el volumen de muestra para cada caso fue de 1 litro.

#### 4.2. Tratamiento con cáscara de coco a 5000 ppm

A continuación, en tabla siguiente se indican los resultados del ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y luego complementada con una repetición más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento
- pH inicial: 2.48
- Concentración Inicial de Pb: 0.586 mg/l

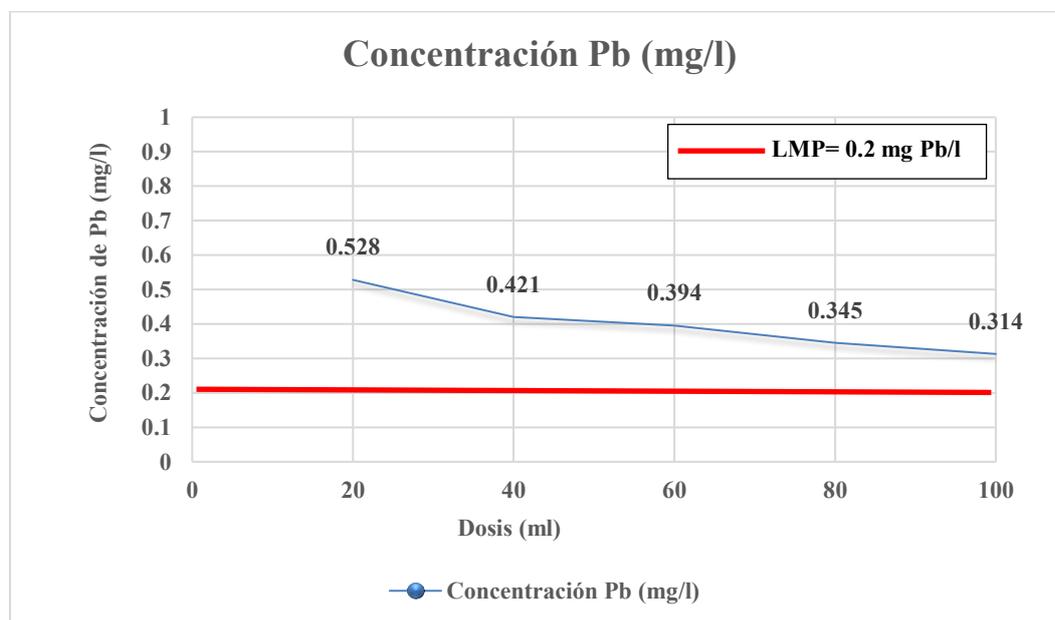
**Tabla 5**

*Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Volumen del biosorbente de Coco.*

| <b>MUESTRA</b>                  | <b>Dosificación biosorbente de Coco (ml)</b> |              |              |              |              |
|---------------------------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Tratamientos</b>             | 20   | 40           | 60           | 80           | 100          |
| Concentración Inicial Pb (mg/l) | 0.586  |              |              |              |              |
| <b>pH</b>                       | 2.48   |              |              |              |              |
| Concentración Final Pb (mg/l)   | 0.527  | 0.421        | 0.393        | 0.345        | 0.315        |
| Repeticiones                    |  |              |              |              |              |
| 1                               | 0.528  | 0.421        | 0.395        | 0.345        | 0.313        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>0.528</b>                                 | <b>0.421</b> | <b>0.394</b> | <b>0.345</b> | <b>0.314</b> |

**Figura 1**

*Comportamiento del Plomo a diferentes dosis de tratamiento/500 ppm.*



Con el primer ensayo que se realizó, se puede observar en la Figura 1, que cuando se trabaja con una concentración inicial de 0.586 mg/l de Pb, los niveles comienzan a descender hasta llegar a un valor final de 0.314 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente de cáscara de coco. De la misma forma, se observa que, al trabajar con todas las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ml, no se alcanza a estar por debajo del LMP 0.2 mg Pb/l, siendo para todos los casos dosis no óptimas; no obstante, el valor más bajo (0.314 mg/l) se alcanzó con la dosis de 100 ml del biosorbente de una concentración de 5000 ppm.

#### **4.3.1 Tratamiento con cáscara de coco a 10000 ppm**

Seguidamente, en la Tabla 6 se muestran los resultados del ensayo, el cual se realizó con una corrida inicial y luego se complementó con una repetición más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 2.48
- Concentración Inicial de Pb: 0.586 mg/l

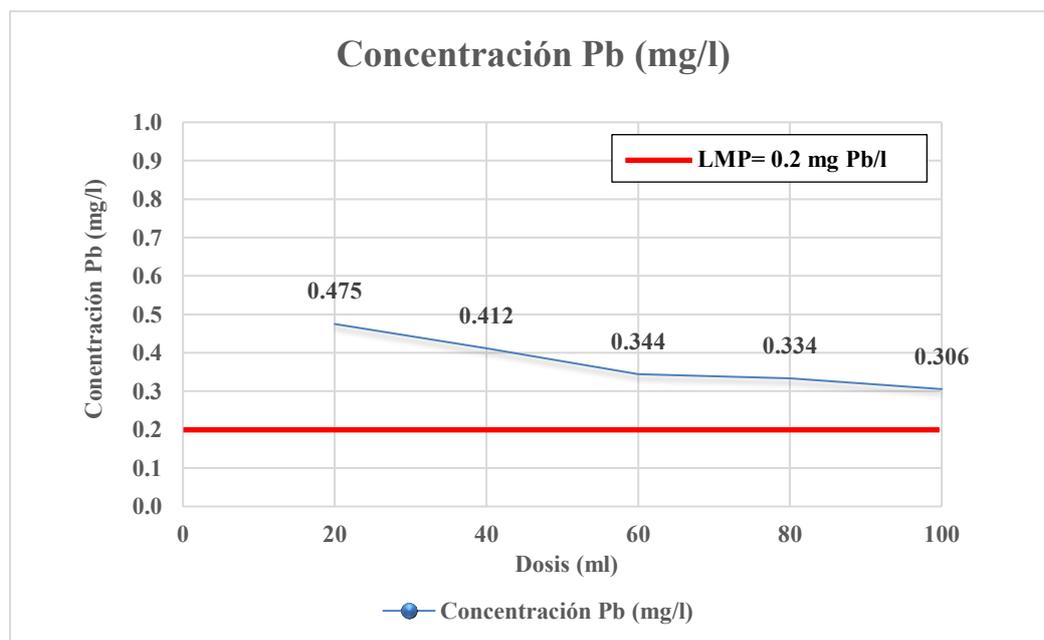
**Tabla 6**

*Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Volumen de biosorbente de Coco.*

| MUESTRA                         | Dosificación Coco (ml) |              |              |              |              |
|---------------------------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tratamientos                    | 20                     | 40           | 60           | 80           | 100          |
| Concentración Inicial Pb (mg/l) | 0.586                  |              |              |              |              |
| pH                              | 2.48                   |              |              |              |              |
| Concentración Final Pb (mg/l)   | 0.476                  | 0.414        | 0.345        | 0.331        | 0.307        |
| Repeticiones                    |                        |              |              |              |              |
| 1                               | 0.474                  | 0.410        | 0.343        | 0.336        | 0.304        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>0.475</b>           | <b>0.412</b> | <b>0.344</b> | <b>0.334</b> | <b>0.306</b> |

**Figura 2**

*Comportamiento del Plomo a diferentes dosis de tratamiento/10000 ppm.*



Del ensayo realizado, se observa en la Figura 2, que al utilizar una concentración inicial de 0.586 mg/l de Pb, los niveles comienzan a disminuir hasta lograr un valor final de 0.306 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente. De la misma manera, se observa que, al trabajar con todas las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ml, no se logra estar por debajo del LMP

0.2 mg Pb/l, siendo para todos los casos dosis no óptimas; no obstante, el valor más bajo 0.306 mg/l se logra con la dosis de 100 ml de biosorbente de una concentración de 10000 ppm.

#### 4.3.2. Tratamiento con cáscara de coco a 20000 ppm

Seguidamente en la Tabla 7 se muestran los resultados del ensayo, el cual consistió en una corrida inicial y se complementó con una repetición más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 2.48
- Concentración Inicial de Pb: 0.586 mg/l

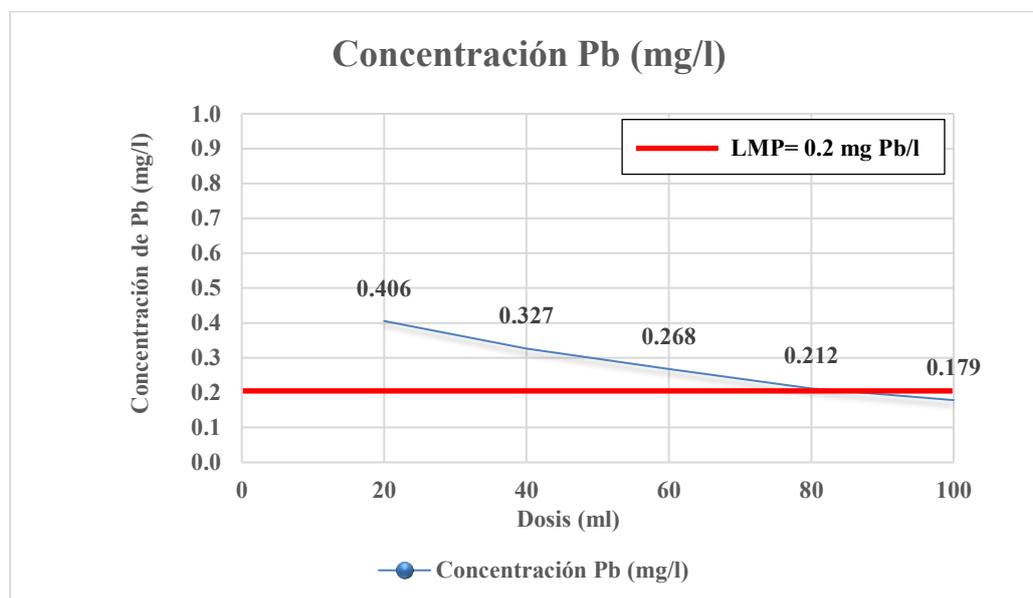
**Tabla 7**

*Resultados del primer ensayo: Plomo Vs Volumen de biosorbente de Coco.*

| <b>MUESTRA</b>                  | <b>Dosificación Coco (ml)</b> |              |              |              |              |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Tratamientos</b>             | 20                            | 40           | 60           | 80           | 100          |
| Concentración Inicial Pb (mg/l) | 0.586                         |              |              |              |              |
| <b>pH</b>                       | 2.48                          |              |              |              |              |
| Concentración Final Pb (mg/l)   | 0.407                         | 0.325        | 0.269        | 0.213        | 0.180        |
| Repeticiones                    |                               |              |              |              |              |
| 1                               | 0.405                         | 0.328        | 0.267        | 0.211        | 0.178        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>0.406</b>                  | <b>0.327</b> | <b>0.268</b> | <b>0.212</b> | <b>0.179</b> |

**Figura 3**

*Comportamiento del Plomo a diferentes dosis de tratamiento/20000 ppm.*



Conforme con el ensayo realizado, se aprecia en la figura 3, que cuando se trabajó con una concentración inicial de 0.586 mg/l de Pb, los niveles comenzaron a disminuir hasta lograr un valor final de 0.179 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente. De la misma forma se observa que cuando se trabaja con las dosis de 20, 40, 60, 80 ml no se alcanza a estar por debajo del LMP 0.2 mg Pb/l, mientras que con la dosis de 100ml sí se alcanza a estar por debajo del LMP siendo para este caso una dosis óptima, el valor más bajo (0.179 mg/l) se alcanza con la dosis de 100 ml de biosorbente de una concentración de 20000 ppm.

#### **4.3. Resultados de la dosis óptima con cáscara de coco en la remoción de Cadmio**

A continuación, se indican los resultados obtenidos en los 3 sistemas de tratamiento en medio ácido, con pH de 2.48 los cuales se trabajaron con duplicado y se armaron figuras en función a los promedios obtenidos, de modo que se pueda observar el comportamiento asumido. Se empleó como biosorbente la cáscara de Coco. Para el tratamiento de Cd se usaron tres concentraciones distintas de 5000, 10000 y 20000 ppm; con volúmenes de 20, 40, 60, 80 y 100 ml de cada concentración con 1L de muestra para cada caso.

#### 4.3.1. Tratamiento con cáscara de coco a 5000 ppm

Seguidamente se observan los tres resultados del ensayo, que consistió en una corrida inicial y luego fue complementada con una repetición más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 2.48
- Concentración Inicial de Cd: 0.472 mg/l

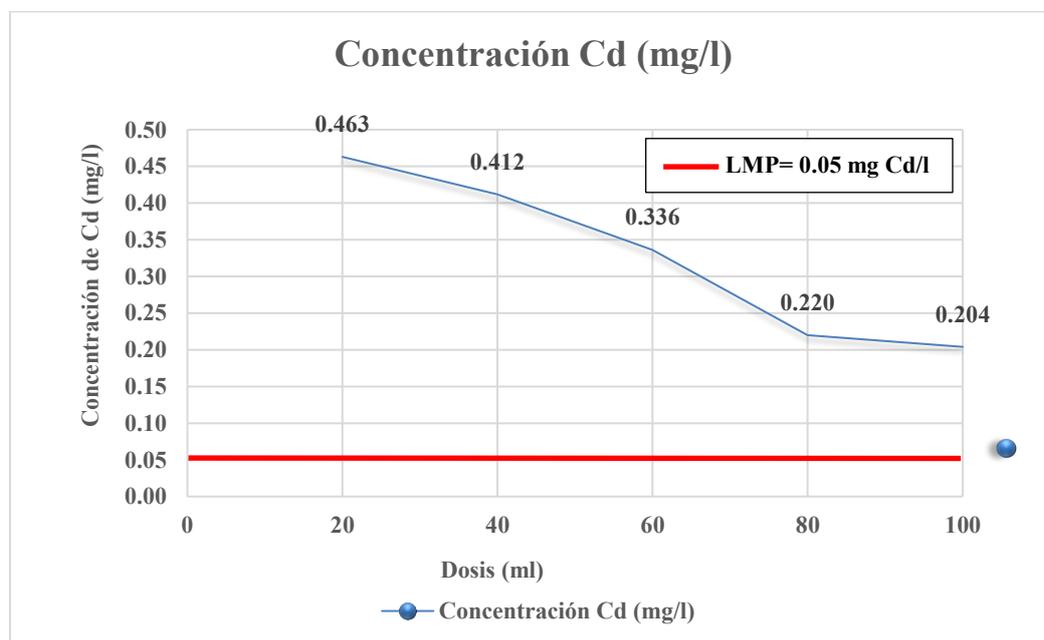
**Tabla 8**

*Resultados del ensayo: Cadmio Vs Volumen de biosorbente de Coco.*

| <b>MUESTRA</b>                  | <b>Dosificación Coco (ml)</b> |              |              |              |              |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Tratamientos</b>             | 20                            | 40           | 60           | 80           | 100          |
| Concentración Inicial Cd (mg/l) | 0.472                         |              |              |              |              |
| <b>pH</b>                       | 2.48                          |              |              |              |              |
| Concentración Final Cd (mg/l)   | 0.461                         | 0.414        | 0.334        | 0.218        | 0.207        |
| Repeticiones                    |                               |              |              |              |              |
| 1                               | 0.465                         | 0.410        | 0.338        | 0.222        | 0.201        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>0.463</b>                  | <b>0.412</b> | <b>0.336</b> | <b>0.220</b> | <b>0.204</b> |

**Figura 4**

*Comportamiento del Cadmio a diferentes dosis de tratamiento/5000 ppm.*



Concorde con el ensayo que se realizó, se observa en la Figura 4, que cuando se trabajó con una concentración inicial de 0.472 mg/l de Cd, los niveles comenzaron a disminuir hasta lograr un valor final de 0.204 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente. De la misma manera se visualiza que, al trabajar con todas las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ml, no se alcanza estar por debajo del LMP 0.05 mg Cd/l, siendo para todos los casos dosis no óptimas, no obstante, el valor más bajo 0.204 mg/l se logra con la dosis de 100 ml de biosorbente de una concentración de 5000 ppm.

#### **4.3.2. Tratamiento con cáscara de coco a 10000 ppm**

Seguidamente se muestran los tres resultados del segundo ensayo, el que trató de una corrida inicial y luego se complementó con una repetición más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 2.48

- Concentración Inicial de Cd: 0.472 mg/l

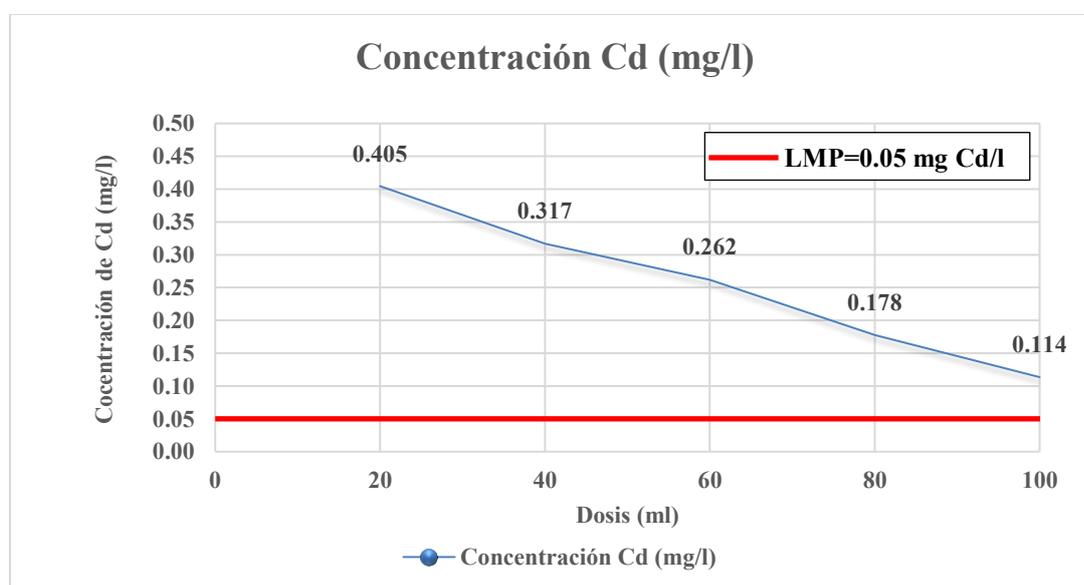
**Tabla 9**

*Resultados del ensayo: Cadmio Vs Volumen de biosorbente de Coco.*

| MUESTRA                         | Dosificación Coco (ml) |              |              |              |              |
|---------------------------------|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tratamientos                    | 20                     | 40           | 60           | 80           | 100          |
| Concentración Inicial Cd (mg/l) | 0.472                  |              |              |              |              |
| pH                              | 2.48                   |              |              |              |              |
| Concentración Final Cd (mg/l)   | 0.406                  | 0.316        | 0.262        | 0.179        | 0.115        |
| Repeticiones                    |                        |              |              |              |              |
| 1                               | 0.403                  | 0.318        | 0.262        | 0.176        | 0.112        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>0.405</b>           | <b>0.317</b> | <b>0.262</b> | <b>0.178</b> | <b>0.114</b> |

**Figura 5**

*Comportamiento del Cadmio a diferentes dosis de tratamiento/10000 ppm.*



Concorde al ensayo realizado, se puede observar en la Figura 5, que si se trabaja con una concentración inicial de 0.472 mg/l de Cd, los niveles comienzan a disminuir hasta obtener un valor final de 0.114 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente. De la misma manera, se tiene que, al trabajar con todas las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ml, no se alcanza estar por debajo del LMP 0.05 mg Cd/l, siendo para todos los casos dosis no óptimas, no

obstante, el valor más bajo (0.114 mg/l) se logra con la dosis de 100 ml de biosorbente de una concentración de 10000 ppm.

#### 4.3.3. *Tratamiento con cáscara de coco a 20000 ppm*

Seguidamente se visualiza los tres resultados del segundo ensayo, el cual se basó en una corrida inicial y se complementó con dos repeticiones más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 2.48
- Concentración Inicial de Cd: 0.472 mg/l

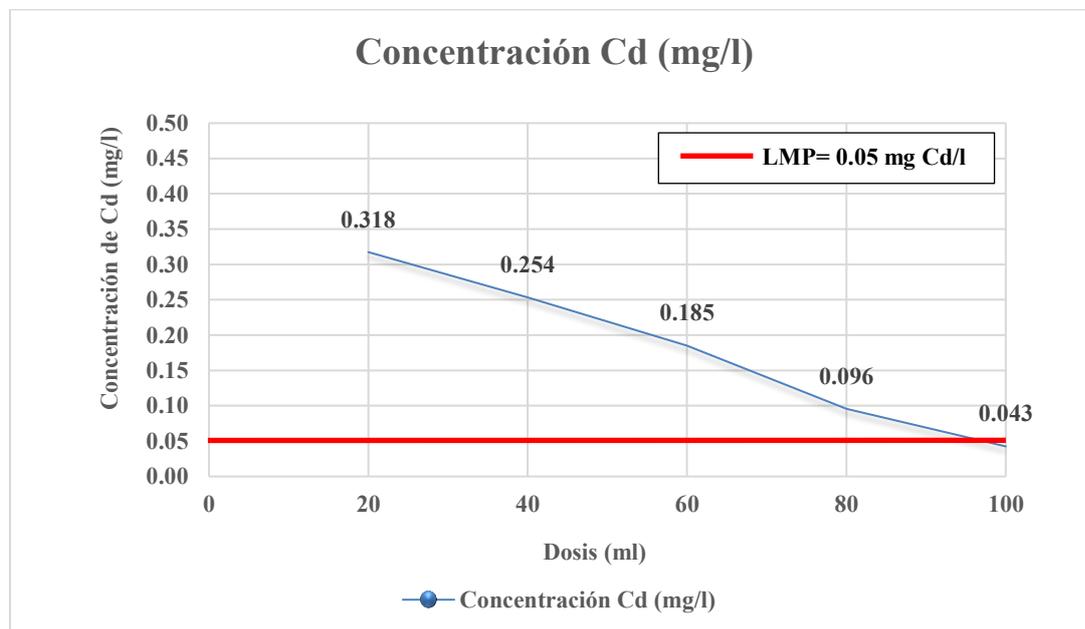
**Tabla 10**

*Resultados del ensayo: Cadmio Vs Volumen de biosorbente de Coco.*

| <b>MUESTRA</b>                  | <b>Dosificación Coco (ml)</b> |              |              |              |              |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Tratamientos</b>             | 20                            | 40           | 60           | 80           | 100          |
| Concentración Inicial Cd (mg/l) | 0.472                         |              |              |              |              |
| <b>pH</b>                       | 2.48                          |              |              |              |              |
| Concentración Final Cd (mg/l)   | 0.318                         | 0.253        | 0.186        | 0.097        | 0.043        |
| Repeticiones                    |                               |              |              |              |              |
| 1                               | 0.317                         | 0.254        | 0.184        | 0.094        | 0.042        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>0.317</b>                  | <b>0.254</b> | <b>0.185</b> | <b>0.096</b> | <b>0.043</b> |

**Figura 6**

*Comportamiento del Cadmio a diferentes dosis de tratamiento/20000 ppm.*



Conforme al ensayo realizado, se aprecia en la Figura 6, que, si se trabaja con una concentración inicial de 0.472 mg/l de Cd, los niveles comienzan a disminuir hasta alcanzar un valor final de 0.043 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente. De la misma manera se tiene que, al trabajar con todas las dosis de 20, 40, 60, 80 ml no se alcanza a estar por debajo del LMP 0.05mg Cd/l, mientras que con la dosis de 100 ml sí se alcanza a estar por debajo del LMP siendo para este caso una dosis óptima, el valor más bajo (0.043 mg/l) se logra con la dosis de 100 ml de biosorbente de una concentración de 20000 ppm.

#### **4.4. Resultados de la dosis óptima con cáscara de coco en la remoción de Zinc**

En las tablas a continuación, se muestran los resultados obtenidos en los tres sistemas de tratamiento en medio ácido, con pH de 2.48 los cuales se trabajaron duplicado y se elaboraron figuras en función a los promedios obtenidos, de modo que se pueda observar el comportamiento asumido. Se empleó como biosorbente natural la cáscara de coco. Para el tratamiento de Zinc se utilizaron tres concentraciones diferentes de cáscara de coco diluida a

5000, 10000 y 20000 ppm; con volúmenes de 20, 40, 60, 80 y 100 ml de cada concentración con 1L de muestra para cada caso.

#### 4.4.1. Tratamiento con cáscara de coco a 5000 ppm

Seguidamente se muestran los tres resultados del primer ensayo, el cual se basó en una corrida inicial y se complementó con una repetición más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 2.48
- CC0 de Zn: 22.114 mg/l

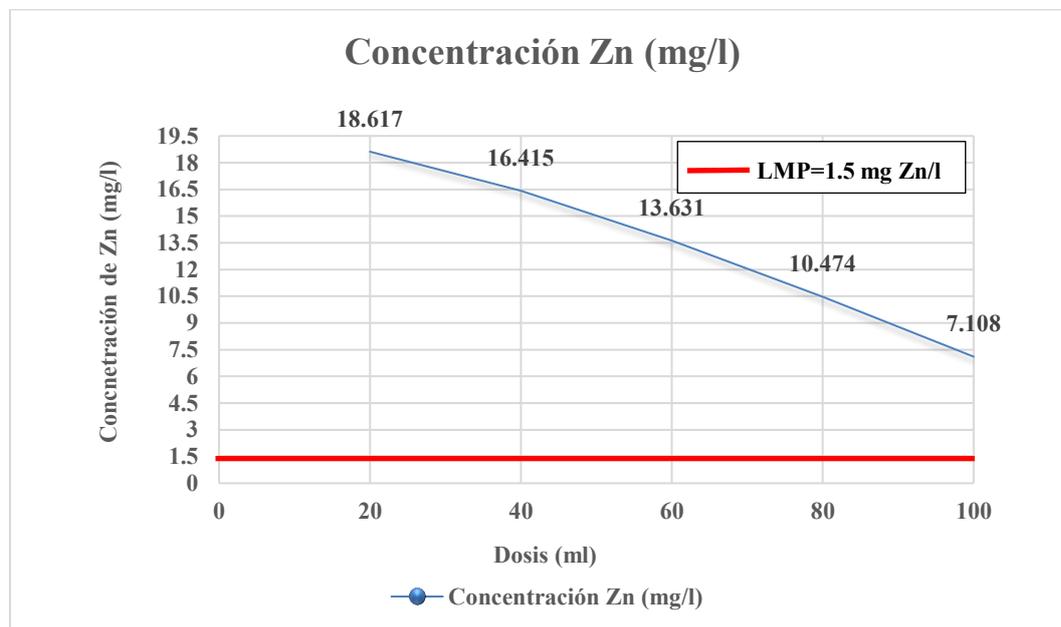
**Tabla 11**

*Resultados del ensayo: Zinc Vs Volumen de biosorbente de Coco.*

| <b>MUESTRA</b>                  | <b>Dosificación Coco (ml)</b> |               |               |               |              |
|---------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|
| <b>Tratamientos</b>             | 20                            | 40            | 60            | 80            | 100          |
| Concentración Inicial Zn (mg/l) | 22.114                        |               |               |               |              |
| <b>pH</b>                       | 2.48                          |               |               |               |              |
| Concentración Final Zn (mg/l)   | 18.615                        | 16.412        | 13.628        | 10.470        | 7.107        |
| Repeticiones                    |                               |               |               |               |              |
| 1                               | 18.620                        | 16.417        | 13.635        | 10.479        | 7.110        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>18.617</b>                 | <b>16.415</b> | <b>13.631</b> | <b>10.474</b> | <b>7.108</b> |

**Figura 7**

*Comportamiento del Zinc a diferentes dosis de tratamiento/5000 ppm.*



Conforme al ensayo realizado, se aprecia en la Figura 7, que, si se trabaja con una concentración inicial de 22.114 mg/l de Zn, los niveles comienzan a disminuir hasta obtener un valor final de 7.108 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente. De la misma manera se aprecia que al trabajar con todas las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ml, no se llega a estar por debajo del LMP (1.5 mg Zn/l), siendo para todos los casos dosis no óptimas, no obstante, el valor más bajo (7.108 mg/l) se logra con la dosis de 100 ml de biosorbente de una concentración de 5000 ppm.

#### **4.4.2. Tratamiento con cáscara de coco a 10000 ppm**

Seguidamente, se observa los tres resultados del segundo ensayo, el cual se basó en una corrida inicial y luego fue complementado con una repetición más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 2.48
- CC0 de Zn: 22.114 mg/l

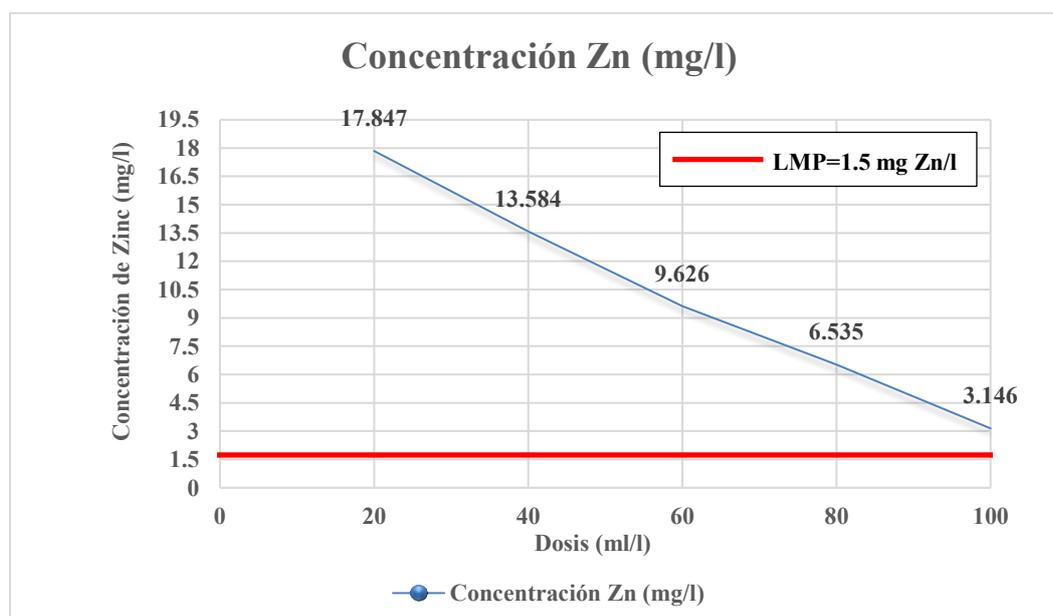
**Tabla 12**

*Resultados del ensayo: Zinc Vs Volumen de biosorbente de Coco.*

| MUESTRA                         | Dosificación Coco (ml) |               |              |              |              |
|---------------------------------|------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Tratamientos</b>             | 20                     | 40            | 60           | 80           | 100          |
| Concentración Inicial Cd (mg/l) | 22.114                 |               |              |              |              |
| <b>pH</b>                       | 2.48                   |               |              |              |              |
| Concentración Final Cd (mg/l)   | 17.845                 | 13.587        | 9.628        | 6.538        | 3.143        |
| Repeticiones                    |                        |               |              |              |              |
| 1                               | 17.848                 | 13.581        | 9.624        | 6.532        | 3.149        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>17.847</b>          | <b>13.584</b> | <b>9.626</b> | <b>6.535</b> | <b>3.146</b> |

**Figura 8**

*Comportamiento del Zinc a diferentes dosis de tratamiento/10000 ppm.*



Conforme al ensayo realizado, se aprecia en la Figura 8, que, si se trabaja con una concentración inicial de 22.114 mg/l de Zn, los niveles comienzan a disminuir hasta obtener un valor final de 3.146 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente. De manera similar, se observa que, al trabajar con todas las dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ml, no se alcanza a estar

por debajo del LMP (1.5 mg Zn/l), siendo para todos los casos dosis no óptimas; sin embargo, el valor más bajo (3.146 mg/l) se alcanza con la dosis de 100 ml de biosorbente de una concentración de 10000 ppm.

#### 4.4.3. Tratamiento con cáscara de coco a 20000 ppm

Seguidamente se visualiza los tres resultados del segundo ensayo, el cual se basó en una corrida inicial y luego se complementó con una repetición más. Los valores iniciales de las variables del ensayo fueron los siguientes:

- Volumen: 1L por muestra de tratamiento.
- pH inicial: 2.48
- Concentración Inicial de Zn: 22.114 mg/l

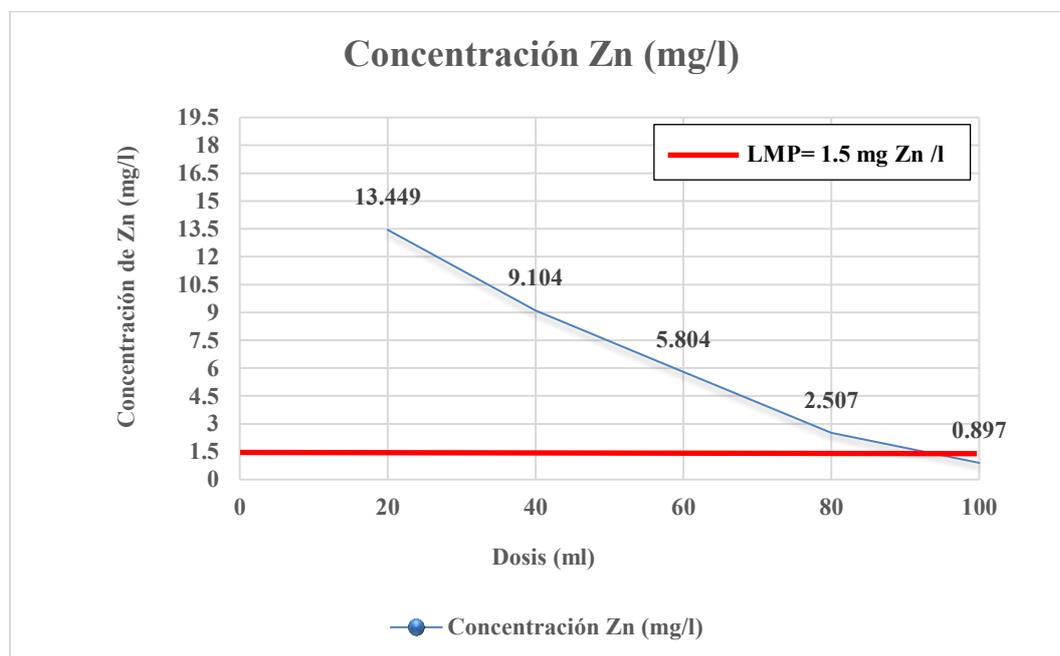
**Tabla 13**

*Resultados del ensayo: Zinc Vs Volumen de biosorbente de Coco.*

| <b>MUESTRA</b>                  | <b>Dosificación Coco (ml)</b> |              |              |              |              |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Tratamientos</b>             | 20                            | 40           | 60           | 80           | 100          |
| Concentración Inicial Cd (mg/l) | 22.114                        |              |              |              |              |
| <b>pH</b>                       | 2.48                          |              |              |              |              |
| Concentración Final Cd (mg/l)   | 13.448                        | 9.103        | 5.804        | 2.508        | 0.896        |
| Repeticiones                    |                               |              |              |              |              |
| 1                               | 13.449                        | 9.104        | 5.803        | 2.506        | 0.898        |
| <b>PROMEDIO</b>                 | <b>13.449</b>                 | <b>9.104</b> | <b>5.804</b> | <b>2.507</b> | <b>0.897</b> |

**Figura 9**

*Comportamiento del Zinc a diferentes dosis de tratamiento/20000 ppm.*



Conforme con el ensayo realizado, se aprecia en la Figura 9, que, si se trabaja con una concentración inicial de 22.114 mg/l de Zinc, los niveles comienzan a disminuir hasta obtener un valor final de 0.897 mg/l con la dosis de 100 ml del biosorbente. De la misma manera, se observa que, al trabajar con todas las dosis de 20, 40, 60, 80 ml no se logra estar por debajo del LMP (1.5 mg Zn/l), mientras que con la dosis de 100ml si se alcanza a estar por debajo del LMP siendo para este caso una dosis óptima, el valor más bajo (0.897 mg/l) se logra con la dosis de 100 ml de biosorbente de una concentración de 20000 ppm.

#### **4.5. Resultados de las eficiencias del biosorbente con cáscara de coco para Plomo**

Conforme al tercer objetivo propuesto se procedió a determinar las eficiencias finales de cada una de las dosis de cáscara de coco para cada ensayo realizado. Seguidamente se muestran los resultados de los tres ensayos que corresponden al tratamiento de Pb con cáscara de coco como floculante natural:

#### 4.5.1. Ensayo N° 1: Concentración a 5000 ppm

En la **Tabla 14**, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas del 1er ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.586 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.528, 0.421, 0.395, 0.345 y 0.313 mg/l de Pb, concorde con cada dosis empleada de biosorbente.

**Tabla 14**

*Eficiencias del primer ensayo: Concentración 5000 ppm.*

| <b>MUESTRA</b>      | <b>Dosificación (ml)</b>            |              |              |              |              |
|---------------------|-------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Dosis (5000 ppm)    | <b>20</b>                           | <b>40</b>    | <b>60</b>    | <b>80</b>    | <b>100</b>   |
| [ ] Inicial (Pb)    | <b>0.586 mg/l</b>                   |              |              |              |              |
|                     | <b>Concentraciones de Pb (mg/l)</b> |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>     | 0.528                               | 0.421        | 0.395        | 0.345        | 0.313        |
| <b>% Eficiencia</b> | <b>9.89</b>                         | <b>28.16</b> | <b>32.59</b> | <b>41.13</b> | <b>46.58</b> |

#### 4.5.2. Ensayo N° 2: Concentración a 10000 ppm

En la **Tabla 15**, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas del 2do ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.586 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.475, 0.412, 0.344, 0.334 y 0.306 mg/l de Pb, concorde con cada dosis empleada de biosorbente.

**Tabla 15**

*Eficiencias del segundo ensayo: Concentración 10000 ppm.*

| <b>MUESTRA</b>                      | <b>Dosificación (ml)</b> |              |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Dosis<br>(10000 ppm)                | <b>20</b>                | <b>40</b>    | <b>60</b>    | <b>80</b>    | <b>100</b>   |
| [ ] Inicial (Pb)                    | <b>0.586 mg/l</b>        |              |              |              |              |
| <b>Concentraciones de Pb (mg/l)</b> |                          |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>                     | 0.475                    | 0.412        | 0.344        | 0.334        | 0.306        |
| <b>% Eficiencia</b>                 | <b>18.94</b>             | <b>29.69</b> | <b>41.23</b> | <b>43.01</b> | <b>47.78</b> |

#### 4.5.3. *Ensayo N° 3: Concentración a 20000 ppm*

En la **Tabla 16**, se indican los resultados de las eficiencias obtenidas del 3er ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.586 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.406, 0.327, 0.268, 0.212 y 0.178 mg/l de Pb, concorde con cada dosis empleada de biosorbente.

**Tabla 16**

*Eficiencias del tercer ensayo: Concentración 20000 ppm.*

| <b>MUESTRA</b>                      | <b>Dosificación (ml)</b> |              |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Dosis<br>(20000 ppm)                | <b>20</b>                | <b>40</b>    | <b>60</b>    | <b>80</b>    | <b>100</b>   |
| [ ] Inicial (Pb)                    | <b>0.586 mg/l</b>        |              |              |              |              |
| <b>Concentraciones de Pb (mg/l)</b> |                          |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>                     | 0.406                    | 0.327        | 0.268        | 0.212        | 0.178        |
| <b>% Eficiencia</b>                 | <b>30.72</b>             | <b>44.19</b> | <b>54.26</b> | <b>63.82</b> | <b>69.62</b> |

#### 4.6. Resultados de las eficiencias del biosorbente con cáscara de coco para Cadmio

Seguidamente se muestran los resultados de las eficiencias de los tres ensayos correspondientes al tratamiento de Cd con cáscara de coco como floculante:

##### 4.6.1. Ensayo N° 1: Concentración a 5000 ppm

En la **Tabla 17**, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas del 1er ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 0.472 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.463, 0.412, 0.336, 0.220 y 0.204 mg/l de Cd, concorde con cada dosis empleada de biosorbente.

**Tabla 17**

*Eficiencias del primer ensayo: Concentración 5000 ppm.*

| MUESTRA             | Dosificación (ml)            |              |              |              |              |
|---------------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Dosis (5000 ppm)    | 20                           | 40           | 60           | 80           | 100          |
| [ ] Inicial (Cd)    | 0.472 mg/l                   |              |              |              |              |
|                     | Concentraciones de Cd (mg/l) |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>     | 0.463                        | 0.412        | 0.336        | 0.220        | 0.204        |
| <b>% Eficiencia</b> | <b>1.91</b>                  | <b>12.71</b> | <b>28.81</b> | <b>53.39</b> | <b>56.78</b> |

##### 4.6.2. Ensayo N° 2: Concentración a 10000 ppm

En la **Tabla 18**, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas del segundo ensayo, el cual ha presentado una concentración inicial de 0.472 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.405, 0.317, 0.262, 0.178 y 0.114 mg/l de Cd, concorde con cada dosis empleada de biosorbente.

**Tabla 18**

*Eficiencias del segundo ensayo: Concentración 10000 ppm.*

| <b>MUESTRA</b>                      | <b>Dosificación (ml)</b> |              |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Dosis (10000 ppm)                   | <b>20</b>                | <b>40</b>    | <b>60</b>    | <b>80</b>    | <b>100</b>   |
| [ ] Inicial (Cd)                    | <b>0.472 mg/l</b>        |              |              |              |              |
| <b>Concentraciones de Cd (mg/l)</b> |                          |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>                     | 0.405                    | 0.317        | 0.262        | 0.178        | 0.114        |
| <b>% Eficiencia</b>                 | <b>14.19</b>             | <b>32.83</b> | <b>44.49</b> | <b>62.28</b> | <b>75.85</b> |

#### 4.6.3. *Ensayo N° 3: Concentración a 20000 ppm*

En la **Tabla 19**, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas del 3er ensayo, el cual mostró una concentración inicial de 0.472 mg/l y concentraciones finales promedio de 0.317, 0.254, 0.185, 0.096 y 0.043 mg/l de Cd, concorde con cada dosis empleada de biosorbente.

**Tabla 19**

*Eficiencias del tercer ensayo: Concentración 20000ppm.*

| <b>MUESTRA</b>                      | <b>Dosificación (ml)</b> |              |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Dosis (20000 ppm)                   | <b>20</b>                | <b>40</b>    | <b>60</b>    | <b>80</b>    | <b>100</b>   |
| [ ] Inicial (Cd)                    | <b>0.472 mg/l</b>        |              |              |              |              |
| <b>Concentraciones de Cd (mg/l)</b> |                          |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>                     | 0.317                    | 0.254        | 0.185        | 0.096        | 0.043        |
| <b>% Eficiencia</b>                 | <b>32.83</b>             | <b>46.19</b> | <b>60.80</b> | <b>79.66</b> | <b>90.88</b> |

#### 4.7. Resultados de las eficiencias del biosorbente con cáscara de coco para Zinc

Posteriormente se indican los resultados de las eficiencias de los tres ensayos que corresponden al tratamiento de Zn con cáscara de Coco como floculante:

##### 4.7.1. Ensayo N° 1: Concentración a 5000 ppm

En la **Tabla 20**, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas del 1er ensayo, el cual mostró una concentración inicial de 22.114 mg/l y concentraciones finales promedio de 18.617, 16.415, 13.631, 10.474 y 7.108 mg/l de Zn, concorde con cada dosis empleada de biosorbente.

**Tabla 20**

*Eficiencias del primer ensayo: Concentración 5000 ppm.*

| MUESTRA               | Dosificación (ml)            |              |              |              |              |
|-----------------------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Floculante (5000 ppm) | 20                           | 40           | 60           | 80           | 100          |
| [ ] Inicial (Zn)      | 22.114 mg/l                  |              |              |              |              |
|                       | Concentraciones de Zn (mg/l) |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>       | 18.617                       | 16.415       | 13.631       | 10.474       | 7.108        |
| <b>% Eficiencia</b>   | <b>15.81</b>                 | <b>25.77</b> | <b>38.36</b> | <b>52.63</b> | <b>67.85</b> |

##### 4.7.2. Ensayo N° 2: Concentración a 10000 ppm

En la **Tabla 21**, se muestran los resultados de las eficiencias obtenidas en el segundo ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 22.114 mg/l y concentraciones finales promedio de 17.847, 13.584, 9.626, 6.535 y 3.146 mg/l de Zn, concorde con cada dosis empleada de biosorbentes.

**Tabla 21**

*Eficiencias del segundo ensayo: Concentración 10000 ppm.*

| <b>MUESTRA</b>                      | <b>Dosificación (ml)</b> |              |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Floculante<br>(10000 ppm)           | <b>20</b>                | <b>40</b>    | <b>60</b>    | <b>80</b>    | <b>100</b>   |
| [ ] Inicial (Zn)                    | <b>22.114 mg/l</b>       |              |              |              |              |
| <b>Concentraciones de Zn (mg/l)</b> |                          |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>                     | 17.847                   | 13.584       | 9.626        | 6.535        | 3.146        |
| <b>% Eficiencia</b>                 | <b>19.29</b>             | <b>38.57</b> | <b>56.47</b> | <b>70.44</b> | <b>85.77</b> |

#### 4.7.3. *Ensayo N° 3: Concentración a 20000 ppm*

En la **Tabla 22**, se muestran los resultados de las eficiencias alcanzadas del 3er ensayo, el cual presentó una concentración inicial de 22.114 mg/l y concentraciones finales promedio de 13.449, 9.104, 5.804, 2.507 y 0.897 mg/l de Zn, concorde con cada dosis empleada de biosorbentes.

**Tabla 22**

*Eficiencias del tercer ensayo: Concentración 20000 ppm.*

| <b>MUESTRA</b>                      | <b>Dosificación (ml)</b> |              |              |              |              |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Floculante<br>(20000 ppm)           | <b>20</b>                | <b>40</b>    | <b>60</b>    | <b>80</b>    | <b>100</b>   |
| [ ] Inicial (Zn)                    | <b>22.114 mg/l</b>       |              |              |              |              |
| <b>Concentraciones de Zn (mg/l)</b> |                          |              |              |              |              |
| <b>PROMEDIO</b>                     | 13.449                   | 9.104        | 5.804        | 2.507        | 0.897        |
| <b>% Eficiencia</b>                 | <b>39.18</b>             | <b>58.83</b> | <b>73.75</b> | <b>88.66</b> | <b>95.94</b> |

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo a Huaman et al., (2006), plantean conocer la capacidad de biosorción del polvo de cáscara de coco para Cadmio, mediante el uso del modelo de equilibrio de absorción, para lo cual manejaron el diseño de adsorción de Langmuir y Freundlich. Por otro lado, el modelo cinético, tiene el propósito de investigar el mecanismo de biosorción y el paso de control de la tasa potencial, como el traslado de masa y los procesos de reacción química. De manera que, los resultados expresaron el aumento porcentual de la eliminación del  $Cd^{+2}$ , del 69%, a pH 4, al 98%, a un pH 7; superior al valor de pH 7, la reducción del metal permaneció constante hasta pH 9. De manera que, se puede indicar que el polvo de cáscara de coco posee un alto potencial de eliminar el ion cadmio. De acuerdo a ello, en nuestra investigación para la reducción de cadmio se utilizó como biosorbente la cáscara de coco, de manera que se trabajaron con tres concentraciones diferentes de 5000, 10000 y 20000 ppm; con dosificaciones de 20, 40, 60, 80 y 100 ml por cada concentración y en muestras de 1 litro en medio ácido de pH 2.84. Las eficiencias máximas de remoción de cadmio en los tres ensayos se lograron a dosificaciones de 100 ml, con resultados que alcanzaron una eficiencia del 56.78% para la concentración de 5000 ppm, un 75.85% para la concentración de 10000 ppm y finalmente un 90.88% para la concentración de 20000 ppm, siendo este último óptimo, debido a que logra estar por debajo de los Límites Máximos Permisibles.

En su investigación Lavado et al., (2016), plantearon investigar la capacidad de la biomasa modificada químicamente del marlo de maíz para remover Pb (II) de soluciones acuosas. La metodología para la biosorción de los iones de Pb(II) de soluciones acuosas fue mediante un sistema batch. Se estableció la dosis de biosorbente, utilizando diferentes concentraciones del marlo de maíz (0,1; 0,2; 0,4 y 0,8 g) en 100 ml de la solución. Por absorción atómica con un espectrofotómetro y a una longitud de onda de 283,3 nm, se obtuvo la concentración final de plomo en solución en equilibrio. De modo que el biosorbente,

proveniente del marlo de maíz con solución de NaOH, logró una buena capacidad de biosorción de Plomo de hasta 12,44 mg Pb/g. Asimismo, se estableció las condiciones óptimas para la remoción de Pb(II), las cuales fueron de 60 minutos de tiempo de agitación, 4g/l de biosorbente y pH 5,0. De manera similar, en la presente investigación para la reducción del plomo se usó como biosorbente la cáscara de coco, de modo que se trabajó con tres concentraciones diferentes de 5000, 10000 y 20000 ppm; con dosificaciones de 20, 40, 60, 80 y 100 ml por cada concentración, en muestras de 1 litro en medio ácido de 2.48 pH, logrando que en los tres ensayos las capacidades de biosorción de Plomo sean significativas con las dosificaciones de 100 ml, alcanzando una capacidad de biosorción de Plomo de 0.273 mg/l para la concentración de 5000 ppm, de 0.280 mg/l para la concentración de 10000 ppm y por ultimo de 0.408 mg/l para la concentración de 20000 ppm, siendo este óptimo, dado que logra estar por debajo de los Límites Máximos Permisibles.

Ore et al., (2015), plantean determinar la capacidad máxima para la remoción del Pb (II) contenido en las aguas residuales de mina, a través de la caracterización de la materia natural (biosorbente), los ensayos de biosorción de Pb(II) desde soluciones acuosas y analizar los resultados de dosis del biosorbente, de manera que se obtuvieron como resultado conseguir eliminar el 97% de Pb(II) presentes en las aguas residuales de mina, demostrando de esta manera un método eficiente y económicamente rentable para el tratamiento de aguas residuales con presencia de Pb (II). Asimismo, las condiciones óptimas para la remoción de Pb(II) resultaron de 4g/l de biosorbente, 5,5 de pH y tiempo de agitación de 90 minutos. En cuanto a nuestra investigación para la reducción de Plomo, se empleó como biosorbente natural la cáscara de coco, de modo que se trabajó con tres concentraciones diferentes de 5000, 10000 y 20000 ppm; con dosificaciones de 20, 40, 60, 80 y 100 ml por cada concentración, en muestras de 1 litro en medio ácido de 2.48 pH, logrando que en los tres ensayos las eficiencias de biosorción de Plomo sean significantes a dosificaciones de 100 ml, con

resultados que alcanzaron una eficiencia del 46.58% para la concentración de 5000 ppm, un 47.78% para la concentración de 10000 ppm y finalmente un 69.62% para la concentración de 20000 ppm, resultando este último el óptimo, debido a que logra estar por debajo de los Límites Máximos Permisibles. Se debe agregar que, la condición óptima para la reducción del Plomo se dio a 2.48 de pH, con tiempo de agitación en la prueba de test de jarras de 30 min a 250 RPM.

## VI. CONCLUSIONES

- a. Con respecto al primer objetivo específico se concluye que los resultados de los parámetros fisicoquímicos del efluente minero depositados en la relavera Quiulacocha fueron de 9.5 °C de temperatura, 15.54 mS/cm de Conductividad Eléctrica, 7.8 g/l de Sólidos Totales Disueltos, 2.48 de pH, 0.586 mg/l de Plomo, 0.472 mg/l de Cadmio y 22.114 mg de Zinc.
- b. Con relación al segundo objetivo específico se concluye que el valor óptimo para la remoción de Plomo se obtuvo con la concentración de 20000 ppm de biosorbente de cáscara de coco con la dosis de 100 ml, obteniendo el nivel más bajo de 0.179 mg/l de Plomo; así mismo para el Cadmio, el valor óptimo se obtuvo de igual forma con la concentración de 20000 ppm de biosorbente y la dosis de 100 ml, obteniendo el valor más bajo de 0.043 mg/l de Plomo, y finalmente el Zinc alcanzó el valor óptimo de igual manera con la concentración de 20000 ppm de biosorbente con la dosis de 100 ml, obteniendo el valor más bajo de 0.897 mg/l de Plomo, alcanzando a estar por debajo de Límite Máximo Permisible para los tres metales en estudio.
- c. En relación al tercer objetivo específico, se llega a la conclusión que las máximas eficiencias logradas para la remoción de Plomo, Cadmio y Zinc se alcanzaron a concentraciones de 20000 ppm con dosificación de 100 ml del biosorbente de cáscara de coco, logrando valores de 0.179 mg/l Pb, 0.043 mg/l Cd y 0.897 mg/l Zn con el 69.62 %, 90.88% y 95.94% respectivamente, llegando a cumplir con los Límites Máximos Permisibles.

## VII. RECOMENDACIONES

- a. Aprovechar los residuos del coco, como una opción natural y biodegradable para la remoción de metales pesados en aguas contaminadas por actividades antropogénicas (efluentes mineros), dado que en el presente estudio se trabajó con aguas de una relavera minera y remoción del Plomo, Cadmio y Zinc.
- b. A fin de perfeccionar las cantidades (dosis ideales) y conseguir mayores eficiencias para eliminar la presencia de altas concentraciones de Plomo, Cadmio y Zinc, se sugiere ejecutar ensayos a mayores concentraciones del biosorbente de coco y con dosis superiores a 100 ml.
- c. Emplear el análisis utilizando la cáscara de coco como biosorbente para otros metales pesados de importancia con el objetivo de verificar el grado de remoción y sus eficiencias.
- d. Se recomienda realizar la misma investigación, pero sin modificar químicamente las fibras de la cáscara de coco, de manera que se compararía el grado de remoción de los metales en estudio y determinar que técnica resulta con las mayores eficiencias.
- e. Se recomienda profundizar y desarrollar estudios de diferentes residuos orgánicos como una alternativa para la remoción de metales pesados potencialmente tóxicos para el medioambiente y la salud humana, en los procesos de tratamiento de aguas contaminadas por diferentes actividades generadoras de metales pesados, promoviendo de esta manera la sostenibilidad ambiental.

## VIII. REFERENCIAS

- Aylas, E. (2018). *Estudio de la adsorción de fenol, 4-nitrofenol y 4-clorofenol utilizando carbón activado modificado con cobre*. Pontificia Universidad Católica del Perú. [Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Química]. Repositorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/11521>.
- Asociación Civil Centro de Cultura Popular Labor (2018). Estudios en poblaciones afectadas por metales pesados en Pasco. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4957.pdf>.
- Ayuba, S., Mohammdib, A. A., Yousefic, M. y Changanic, F. (2018). Performance evaluation of agro-based adsorbents for the removal of cadmium from wastewater. *Desalinización y Tratamiento de Agua*, 142, 293-299. [https://www.researchgate.net/profile/Sohail-Ayub/publication/330868046\\_Performance\\_evaluation\\_of\\_agrobased\\_adsorbents\\_for\\_the\\_removal\\_of\\_cadmium\\_from\\_wastewater/links/5c628bab92851c48a9cd8331/Performance-evaluation-of-agro-based-adsorbents-for-the-removal-of-cadmium-from-wastewater.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Sohail-Ayub/publication/330868046_Performance_evaluation_of_agrobased_adsorbents_for_the_removal_of_cadmium_from_wastewater/links/5c628bab92851c48a9cd8331/Performance-evaluation-of-agro-based-adsorbents-for-the-removal-of-cadmium-from-wastewater.pdf).
- Bakar, A. A., Razak, N. F., Daud, N. M. y Ali, K. A. (2021). Removal of Cr (III) from industrial wastewater using coconut shell carbon and limestone as adsorbent. En la serie de conferencias IOP: Earth and Environmental Science (Vol. 646, No. 1, p. 012063). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/646/1/012063/pdf>.
- Beata, B. (2014). Effect of heavy metals on living organisms. *World Scientific New*, 5, 26-34. <http://www.worldscientificnews.com/wp-content/uploads/2012/11/WSN-5-2014-1220.pdf>.
- Calva, L. G. y Torres, M. R. (2003). Metales pesados y sus efectos en organismos. *Contactos*, 51, 33-42. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n51ne/metales.pdf>.
- Correa, O., Fuentes, F. E., y Coral, R. G. (2021). Contaminación por metales pesados de la Microcuenca agropecuaria del río Huancaray – Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 26-38. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.320>.

- Díaz, C., Jacinto, C., Medina, R., Navarro, A., Cuizano, N. y Llanos, B. (2013). Estudio de la biosorción de cromo (VI) con quitosana cuaternaria reticulado para su aplicación en biorremediación de aguas contaminadas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(4), 304-318. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2013000400003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000400003&lng=es&tlng=es).
- Dold, B., Fontboté, L. (2006). Geoquímica y mineralogía del Quiulacocha, Depósito de relaves de la polimetálica Yacimiento Zn-Pb-(Ag-Bi-Cu) Cerro de Pasco, Perú. *Revista de exploración geoquímica*, 100 (2-3), 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2008.05.002>.
- Forrest, S. C. (2012). Adsorción física de gases en material de sílice mesoporoso SBA-15. *Proyectos del programa de honores del canciller*. [https://trace.tennessee.edu/utk\\_chanhonoproj/1567](https://trace.tennessee.edu/utk_chanhonoproj/1567).
- García, V. R., Yipmantin, A. G., Guzmán, E. G., Pumacagua, R. y Maldonado, H. J. (2011). Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 77(3), 173-181. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810634X2011000300002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810634X2011000300002&lng=es&tlng=es).
- García, N., Villanueva, P., Campos, E. y Velázquez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Rivera*, 14(1), 109-129. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40123894007>.
- Hauman, G., Souza, L. M., Torén, M. L. & Saavedra, G. A. (2006). Biosorption of cadmium by green coconut shell poder. *Ingeniería de minerales*, 19 (5), 380-387. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.12.003>.
- Jiménez, F. O., Lavado, M. y Bendezú, S. (2015). Biosorción de Pb (II) de aguas residuales de mina usando el marlo de maíz (*Zea mays*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(2), 122-134. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-)

634X2015000200005&lng=es&tlng=es.

Larios, J. F., Gonzales, C. y Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y Hacer*, 2(2), 09-25. <https://revistas.usil.edu.pe/flip/index.php?pdf=https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/articloe/download/115/215>.

Lavado, C. y Jiménez, F. O. (2016). Estudio de la biosorción de plomo divalente de soluciones acuosas usando biomasa modificada de marlo de maíz (*Zea mays*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(4), 403-414. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2016000400003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2016000400003&lng=es&tlng=es).

Ledesma, W. (2018). Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. [Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Minería y Medio Ambiente]. Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/878>.

Limones, V., Fernández, M. (2016). El cocotero: El árbol de la vida. Desde el Herbario CICY8. [https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde\\_Herbario/2016/2016-07-14-Limones-Fernandez-El-Cocotero.pdf](https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2016/2016-07-14-Limones-Fernandez-El-Cocotero.pdf).

Poveda, R. (2022). Obtención de coagulantes / floculantes Orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coadyuvante en el proceso de tratamiento de agua. Universidad Técnica de Ambato. [Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Química]. Repositorio de la Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34289>.

Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A. y Gallo, J. A. (2020). Water contamination by heavy metals, analysis methods and removal technologies. A review. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>.

- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M. y González, E. E. (2016). Revista Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16 (2), 66-77. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>.
- Romero, R. (2020). Adsorción de cobre y zinc utilizando mesocarpo fibroso de la cascara de coco verde (*Cocos nucifera*) en efluentes ácidos de mina. Universidad Nacional del Centro del Perú. [Tesis para optar el Grado Académico de Maestro de Ingeniería Ambiental]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. [https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5736/T010\\_40174899\\_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5736/T010_40174899_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Redha, A. A. (2020). Removal of heavy metals from aqueous media by biosorption. *Revista árabe de ciencias básicas y aplicadas*, 27(1), 183-193. <https://doi.org/10.1080/25765299.2020.1756177>.
- Ramachandra, T. V., Ahalya, N. & Kanamadi, R. D. (2006). Biosorption: Techniques and Mecanismo. CES Technical Report 110. [http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/pubs/ces\\_tr/TR110/TR110\\_TVR\\_CES.pdf](http://wgbis.ces.iisc.ernet.in/biodiversity/pubs/ces_tr/TR110/TR110_TVR_CES.pdf).
- Ramos, W., Munive, L., Alfaro, M., Calderón, M., Gonzáles, I., & Núñez, Y. (2009). Intoxicación plúmbica crónica: una revisión de la problemática en el Perú *Revista Peruana de Epidemiología*, 13(2), 1-8. <https://www.redalyc.org/pdf/2031/203120363002.pdf>.
- Sousa, V. O., Vieira, T., Braga, S., Gomes, C. L., Barros, C. F., Araújo, M. A., Freire, P. T. y Nascimento, R. F. (2012). Coconut bagasse treated by Thiourea/Ammonia solution for cadmium removal: Kinetics and adsorption equilibrium. *BioRecursos*, 7 (2), 1504-1524. [https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes\\_07\\_2\\_1504\\_Neto\\_CHGBAF\\_N\\_Coconut\\_Thiourea\\_Cd\\_Removal](https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_07_2_1504_Neto_CHGBAF_N_Coconut_Thiourea_Cd_Removal).

- Sánchez, D., García, V., Yipmantin, A., Guzmán, E., Borja, N. y Maldonado, H. (2014). Estudio de la cinética de biosorción de iones cadmio (II) en pectina reticulada provenientes de cáscaras de naranjas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 298-307. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2014000400009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000400009&lng=es&tlng=es).
- Sánchez, J., Gonzales, R., Blancas, F., & Fonseca, A. (2020). Utilización de subproductos agroindustriales para la bioadsorción de metales pesados. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 23 (1), 1-18. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.261>.
- Serpa, M. (2017). Remoción de metales pesados Cd y Hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria El Espinar – Puno, utilizando vermicomposteo. Universidad Nacional del Altiplano. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico]. Repositorio de la Universidad Nacional del Altiplano. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5070/Serpa\\_Juli\\_Margarita\\_Susana.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5070/Serpa_Juli_Margarita_Susana.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Santiago, A., Luna, I. P., López, S. L. & Ríos, M. V. (2014). Techniques to correct and prevent acid mine drainage: A review. *DINA*, 81(186), 73-80. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n186.38436>.
- Trujillo D., Duque L., Arcila J., Rincón A., Pacheco S. & Herrera O. (2014). Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano. *Revista ION*, 27 (1), 17-34. <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v27n1/v27n1a03.pdf>.
- Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M., Vázquez, V., & Aloma, I. (2016). Desarrollo de materiales sorbetes para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales mineras. *Afinidad*, 73 (574), 135-139. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/312048/402145>.

## IX. ANEXOS

### Anexo A

*Fotografía de la toma de muestra del efluente minero del depósito de Relaves Quiulacocha – Cerro de Pasco.*



### Anexo B

*Fotografía del proceso de secado de las fibras de cáscara de coco (Cocos nucifera) en la estufa J. Ovens en el laboratorio de Geografía y Medio ambiente – FIGAE.*



**Anexo C**

*Fotografía del proceso de activación química de las fibras de coco con solución de HCl (0,5 M).*

**Anexo D**

*Fotografía del proceso de trituración de las fibras de cáscara de coco (Cocos nucifera) en el mortero del laboratorio Geografía y Medio ambiente – FIGAE.*



**Anexo E**

*Fotografía del proceso de tamizado de material pulverizado de las fibras de la cáscara de coco.*

**Anexo F**

*Fotografía de la obtención del material final a base de la cáscara de coco (Cocos nucifera) para el desarrollo del proceso de la biosorción.*



## Anexo G

*Fotografía del proceso de filtrado de las muestras del efluente minero de la relavera Quiulacocha – Cerro de Pasco.*



## Anexo H

*Fotografía del pesado a tres cantidades del biosorbente a base de la cáscara de coco en balanza analítica.*



**Anexo I**

*Fotografía de soluciones del biosorbente de cáscara de coco a concentraciones de 5000, 10000 y 20000 ppm.*

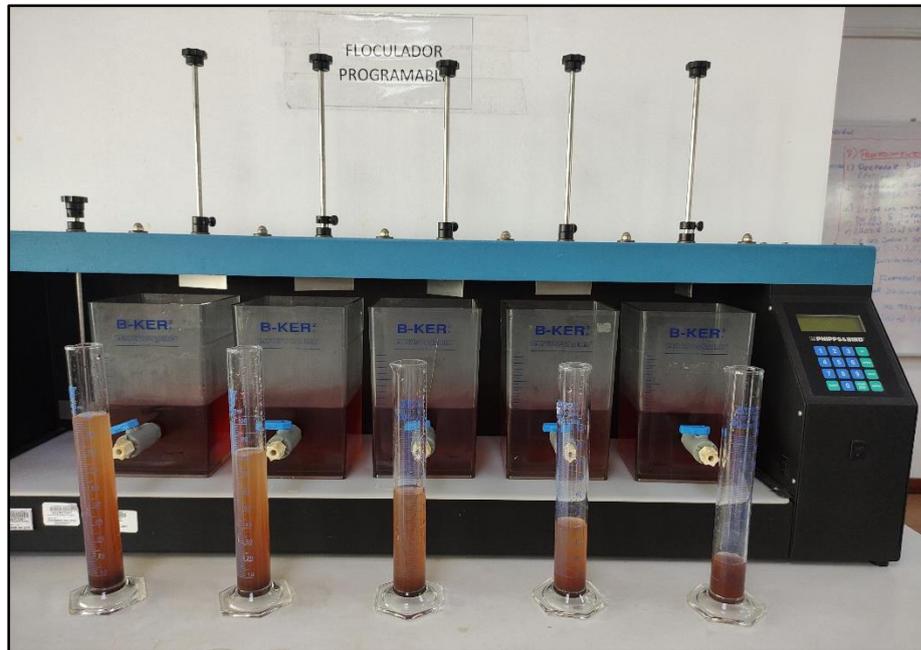
**Anexo J**

*Fotografía de las soluciones del biosorbente de la cáscara de coco llevado a dosis de 20, 40, 60, 80 y 100 ml en tubos de ensayo.*



## Anexo K

*Fotografía de la distribución de las dosis del biosorbente para cada litro de muestra a tratar en el test de jarras programable.*



## Anexo L

*Fotografía donde se añaden las dosis del biosorbente de la cáscara de coco hacia las jarras con muestras del efluente minero a tratar.*



## Anexo M

*Fotografía del proceso de tratamiento mediante el test de jarras programable.*



## Anexo N

*Fotografía de la obtención de la muestra de estudio tratada con biosorbente de cáscara de coco.*



**Anexo O**

*Fotografía del proceso de digestor con ácido nítrico en la plancha de calentamiento THERMO SCIENTIFIC (TYPE 220).*

**Anexo P**

*Fotografía del proceso de obtención de los resultados mediante técnica de absorción atómica.*

