



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

OPTIMIZACIÓN DEL SULFURO DE SODIO CON BIOSORBENTE DE CÁSCARA DE
MARACUYÁ PASSIFLORA EDULIS PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO Y COBRE EN
DRENAJES ACIDOS DE LA LAGUNA QUIULACOCHA, CERRO DE PASCO, 2022

Línea de investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Rosales Cosme, Junior Jonathan

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

Jurado:

Cesar Minga, Julio

Vega Ventosilla, Violeta

Rodríguez, José Félix

Lima - Perú

2024



“OPTIMIZACIÓN DEL SULFURO DE SODIO CON BIOSORBENTE DE CASCARA DE MARACUYÁ *Passiflora edulis* PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO Y COBRE EN DRENAJES ACIDOS DE LA LAGUNA QUIULACOCHA, CERRO DE PASCO, 2022”

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

17%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	core.ac.uk Fuente de Internet	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
OPTIMIZACIÓN DEL SULFURO DE SODIO CON BIOSORBENTE DE CÁSCARA DE
MARACUYÁ PASSIFLORA EDULIS PARA LA REMOCIÓN DE CADMIO Y COBRE
EN DRENAJES ACIDOS DE LA LAGUNA QUIULACOCHA, CERRO DE PASCO, 2022

Línea de investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Bioremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Rosales Cosme, Junior Jonathan

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

Jurado:

Cesar Minga, Julio

Vega Ventosilla, Violeta

Rodríguez, José Félix

Lima – Perú

2024

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
I. Introducción	10
1.1. Descripción y formulación del problema.....	11
1.2. Antecedentes	11
1.3. Objetivos	19
1.4. Justificación	20
1.5. Hipótesis	21
II. Marco Teórico	22
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación.	22
2.1.1. Parámetros de la Calidad del Agua	22
2.1.2. Agua Residuales.....	23
2.1.3. Agua Residuales Mineras.....	23
2.1.4. Metales Pesados	24
2.1.5. Clasificación de los Metales Pesados.....	25
2.1.6. Cadmio Cd	25
2.1.7. Cobre Cu	26
2.1.8. Contaminación por Metales Pesados	26
2.1.9. Aguas ácidas de Mina	27
2.1.10. Drenaje Ácido de Mina DAM.....	27
2.1.11. Remoción de Metales Pesados	28
2.1.12. Métodos Convencionales Usados en el Tratamiento de Aguas.....	29
2.1.13. Procesos de Biosorción	32
2.1.14. Tipos de Adsorción	33
2.1.15. Espectrofotometría de Absorción Atómica.....	35

2.1.16. Método de Jarras	35
2.1.17. Maracuyá Passiflora Edulis.....	36
2.1.18. Relave Quiulacocha	38
2.2. Marco Conceptual.....	39
2.3. Marco Legal Ambiental.....	41
III. Método	44
3.1. Tipo de investigación.....	44
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	44
3.3. Variables	45
3.4. Población y muestra	47
3.5. Instrumentos	47
3.6. Procedimientos	48
3.7. Análisis de datos	50
IV. Resultados	54
4.1. Caracterización del DAM.....	54
4.2. Eficiencia del Sulfuro de Sodio.....	55
4.2.1. Tratamiento 1 con Sulfuro de Sodio	55
4.2.2. Tratamiento 2 con Sulfuro de Sodio	57
4.2.3. Tratamiento 3 con Sulfuro de Sodio	58
4.3. Eficiencia del Biosorvente de Maracuyá	60
4.3.1. Tratamiento 1 con Biosorvente	61
4.3.2. Tratamiento 2 con Biosorvente	63
4.3.3. Tratamiento 3 con Biosorvente	64
4.4 Análisis Estadístico	67
4.5 Contrastación de hipótesis	78

V.	Discusión de resultados.....	80
VI.	Conclusiones	83
VII.	Recomendaciones	84
VIII.	Referencias.....	85
IX.	Anexos	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diferencias entre la adsorción física (fisisorción) y química (quimisorción)	34
Tabla 2 Clasificación Taxonómica del Maracuyá	37
Tabla 3 Caracterización Morfológica de la Maracuyá	38
Tabla 4 Operacionalización de Variables de Investigación.....	46
Tabla 5 Comparación de los parámetros físico químicos de la muestra con los LMP.....	54
Tabla 6 Resultados del tratamiento para remoción de Cu, con 2.5 g/l de Na ₂ S	55
Tabla 7 Resultados del tratamiento para remoción de Cd, con 2.5 g/l de Na ₂ S	56
Tabla 8 Resultados del tratamiento para remoción de Cu, con 5 g/l de Na ₂ S	57
Tabla 9 Resultados del tratamiento para remoción de Cd, con 5 g/l de Na ₂ S	57
Tabla 10 Resultados del tratamiento para remoción de Cu, con 10 g/l de Na ₂ S	59
Tabla 11 Resultados del tratamiento para remoción de Cd, con 10 g/l de Na ₂ S	59
Tabla 12 Resultados del tratamiento para remoción de Cu, al 5 % de Biosorbente.....	61
Tabla 13 Resultados del tratamiento para remoción de Cd, al 5 % de Biosorbente.....	62
Tabla 14 Resultados del tratamiento para remoción de Cu, al 15 % de Biosorbente.....	63
Tabla 15 Resultados del tratamiento para remoción de Cd, al 15 % de Biosorbente.....	64
Tabla 16 Resultados del tratamiento para remoción de Cu, al 25 % de Biosorbente.....	65
Tabla 17 Resultados del tratamiento para remoción de Cd, al 25 % de Biosorbente.....	66
Tabla 18 Data para Aplicación Estadística en la remoción de Cobre aplicando dos tratamientos uno con sulfuro de Sodio y otro con biosorbente potenciado a base de cascara de maracuyá...69	69
Tabla 19 Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para remoción de Cobre.....	72
Tabla 20 Data para Aplicación Estadística en la remoción de Cadmio aplicando dos tratamientos uno con sulfuro de Sodio y otro con biosorbente potenciado a base de cascara de maracuyá.....	73

Tabla 21 Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para remoción de Cadmio	77
Tabla 22 Contrastación de Hipótesis	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Clasificación de los Parámetros Indicadores de la Calidad de Agua.....	22
Figura 2 Ubicación de la Relavera Quiulacocha	39
Figura 3 Eficiencia alcanzada con 2.5 g/l de Na ₂ S para la remoción de Cu y Cd	56
Figura 4 Eficiencia alcanzada con 5 g/l de Na ₂ S para la remoción de Cu y Cd	58
Figura 5 Eficiencia alcanzada con 10 g/l de Na ₂ S para la remoción de Cu y Cd	60
Figura 6 Eficiencia alcanzada con 5% de biosorbente para la remoción de Cu y Cd.....	62
Figura 7 Eficiencia alcanzada con 15% de biosorbente para la remoción de Cu y Cd.....	64
Figura 8 Eficiencia alcanzada con 25% de biosorbente para la remoción de Cu y Cd.....	67
Figura 9 Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD)para la disminución de Cobre aplicando los tratamientos.....	70
Figura 10 Grafica de la prueba Tukey aplicando los tratamientos a Drenaje Acido obtenido de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco para la remoción de cobre	72
Figura 11 Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD)para la disminución de Cadmio aplicando los tratamientos	76
Figura 12 Grafica de la prueba Tukey aplicando los tratamientos a Drenaje Acido obtenido de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco para la remoción de cadmio	78

RESUMEN

La industria minera deja en el ambiente residuos mineros en estado de abandono que ocasionan impactos ambientales sobre los diferentes ecosistemas terrestres dentro de los cuales se encuentran los drenajes ácidos de mina. El objetivo principal de la presente investigación fue optimizar el uso del sulfuro de sodio con el biosorbente de la cascara de maracuyá *Passiflora edulis* para la remoción de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco, dentro de la metodología del trabajo de investigación se empleó la técnica del Jar Test para el desarrollo de las pruebas experimentales. Dentro de los resultados finales se obtuvo que la remoción de Cobre en el drenaje ácido de mina tratado con Sulfuro de Sodio a una concentración de 10 g/l y dosis de 30, 40 y 50 ml alcanzaron eficiencias promedio del 87%, mientras que, para el Cadmio con dosis de 20, 30, 40 y 50 ml se obtuvieron eficiencias promedio del 91.6 %. En cuanto al resultado final utilizando el biosorbente de cascara de maracuyá se concluye que la remoción de Cobre en el drenaje ácido de mina, tratado con una concentración del 25 % y dosis de 30, 40 y 50 ml alcanzaron eficiencias del 94.79, 96.25 y 98.75 % respectivamente, mientras que para el Cadmio con dosis de 40 y 50 ml se obtuvieron eficiencias del 76.19 y 85.71 % respectivamente.

Palabras Clave: Drenaje Acido de Mina, Metal pesado, Biosorbente, Jar Test.

ABSTRACT

The mining industry leaves mining residues in the environment in a state of abandonment that cause environmental impacts on the different terrestrial ecosystems within which are the acid mine drainages. The main objective of the present investigation was to optimize the use of sodium sulfide with the biosorbent of the passion fruit shell *Passiflora edulis* for the removal of Cadmium and Copper in acid drainages of the Quiulacochalagoon in Cerro de Pasco, within the work methodology The Jar Test technique was used for the development of the experimental. Among the final results, it was obtained biosorbent that the removal of copper in the acid mine drainage treated with Sodium Sulfide at a concentration of 10 g/l and doses of 20, 30, 40 and 50 ml reached average efficiencies of 87%, while, for Cadmium with doses of 30, 40 and 50 ml, average efficiencies of 91.6% were obtained. Regarding the result using the passion fruit peel biosorbent, it is concluded that the removal of copper in the acid mine drainage, treated with a concentration of 25% and doses of 30, 40 and 50 ml, reached efficiencies of 94.79, 96.25 and 98.75. % respectively, while for Cadmium with doses of 40- and 50-ml efficiencies of 76.19 and 85.71% respectively were obtained.

Keywords: Acid Mine Drainage, Heavy Metal, Biosorbent, Jar Test.

I. INTRODUCCIÓN

Como resultado del mismo proceso productivo, la industria minera deja en el ambiente residuos mineros en estado de abandono que ocasionan impactos ambientales sobre los diferentes ecosistemas terrestres que significan un riesgo permanente de real importancia para la salud de las personas, la biodiversidad circundante y la propiedad (Kefeni et al., 2017).

El drenaje ácido de mina se presenta como una poderosa fuente de contaminación de aguas subterráneas y superficiales, el cual requiere ser tratado mediante el uso de métodos activos y pasivos, de los cuales este último viene siendo usado en países desarrollados, quienes han obtenidos resultados dignos de resaltar (Denegri-Muñoz y Iannacone, 2020).

Los drenajes ácidos de mina además de presentar un pH bajo contienen una elevada concentración de sólidos suspendidos con un elevado contenido en sulfato y metales pesados como Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd y Ni, en el orden de varios cientos de miligramos por litro, quienes se sabe que en altas concentraciones son tóxicos para la actividad biológica, impactan negativamente sobre los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a los diferentes tipos de infraestructuras construidas por el hombre (Aduvire, 2006).

Dentro de los métodos de tratamiento activos tenemos el uso de agentes químicos que han demostrado poseer altas eficiencias en la remoción de metales, así por ejemplo tenemos la precipitación por sulfuros, con solubilidades relativamente bajas y precipitados no anfóteros, por lo cual se pueden obtener elevados rendimientos. Asimismo, se han utilizado diversas sustancias quelantes, pero se ha demostrado que presentan desventajas importantes como la falta de uniones necesarias y excesivos impactos perjudiciales en el ambiente (Chen, et al; 2009).

Debido al alto costo que representa muchas veces el tratamiento a nivel industrial, es necesario buscar una solución a este problema por lo que en el presente trabajo de investigación se presenta una alternativa de tratamiento que combina un método activo con Sulfuro de sodio

con un método pasivo con un biosorbente a partir de la cascara de maracuyá a fin de optimizar la eficiencia en la remoción de Cobre y Cadmio presente en los DAM de la laguna Quiulacocha.

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

El drenaje ácido de mina (DAM), se muestra como un proceso de formación natural cuando las rocas que tienen azufre, en forma de sulfuros principalmente, quedan expuestas a la al contacto con el agua, el oxígeno atmosférico y bacterias acidófilas oxidantes de hierro, obteniéndose como resultado formación de ácido sulfúrico, hierro soluble inicialmente y posterior precipitación como hidróxido de hierro III. El ácido sulfúrico formado tiende a disolver los metales pesados que han sido expuestos en el proceso de extracción de los minerales, con un grado de acidez fuerte que permite obtener concentraciones altas de metales como plomo, cadmio, zinc, arsénico, cobre, etc. Los elementos solubilizados con pH ácido presentan una mayor facilidad para infiltrarse en el suelo, motivo por el cual el drenaje ácido de mina sea considerado como uno de los principales contaminantes de las aguas superficiales y subterráneas, con impactos negativos en el ambiente (Skousen et al., 2018).

Los volúmenes de drenaje ácido expuesto al ambiente pueden variar según las cantidades y tamaños de rocas extraídas, el tipo de sulfuros que contiene, su concentración y el área de superficie expuesta, esta generación de drenaje ácido de mina va a continuar descargándose y ocurriendo inclusive cuando la mina ha dejado de operar, lo que implica una grave amenaza a los diferentes ecosistemas. La cantidad más importante de DAM proviene por lo general de muchas minas abandonadas que quedaron sin ser manejadas y recuperadas, el proceso de oxidación de los minerales sulfurosos se acelera más allá de la capacidad de amortiguación natural de la roca que lo puede albergar y los recursos hídricos (Jennings et al., 2008).

Los drenajes ácidos que se generan a partir de residuos mineros con una acidez muy

significativa, con concentraciones elevadas de sulfatos y metales pesados generan estragos en el entorno ambiental, en especial en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, así por ejemplo las minas de lignito pueden llegar a disminuir los niveles de pH hasta alcanzar valores cercanos a 1, el cambio climático también puede influenciar en el comportamiento del DAM, a través de las reacciones geoquímicas en los residuos mineros, la calidad de agua superficial afectada por el DAM y los procesos de transporte involucrados han sido muy poco estudiados (Pandey et al., 2007; Dutta et al., 2017; Kapil y Bhattacharyya, 2017).

Las tecnologías de tratamiento del DAM, se clasifican por lo general como activas y pasivas, y en ambos caso combinan fuertemente enfoques fisicoquímicos y biológicos (Favas et al., 2016 y Macias et al., 2017); sin embargo, autores como Jhonson y Hallberg (2005) consideran dos categorías basadas en estrategias biológicas y estrategias abióticas, sin embargo, dentro de estos grupos algunos procesos podrían describirse como activos y pasivos, considerando que el enfoque principal para ambos casos el objetivo principal está en la reducción de la acidez y la concentración de metales pesados, elevar los niveles de pH y en parte reducir las concentraciones de sulfatos y la salinidad (Taylor et al., 2005).

La neutralización del drenaje ácido o control de la acidez es el tratamiento más utilizado por los métodos pasivos y activos, basándose en crear condiciones alcalinas con pH mayores a 9 por ejemplo, logrando con ello un aumento del pH y generando condiciones poco solubles y precipitar la mayoría de los metales. Uno de los lugares que presenta esta problemática de contaminación por drenajes ácidos de mina es la laguna Quiulacocha, ubicado en el centro poblado del mismo nombre, en Cerro de Pasco, perteneciente a la región Pasco. Cerro de Pasco fue calificado por muchos años, como la ciudad minera más importante de la región Pasco; sin embargo, en la actualidad es conocido a nivel nacional, por sus graves problemas de contaminación ambiental y de salud pública, debido principalmente a los impactos negativos de la actividad extractiva minera (Asociación Civil Centro de Cultura

Popular Labor, 2018).

1.1.2 Formulación del Problema

1.1.2.1 Problema general

¿Cómo será la optimización del sulfuro de sodio con el biosorbente de la cáscara de maracuyá *Passiflora edulis* para la remoción de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco, 2022?

1.1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles serán los niveles de los parámetros fisicoquímicos de los drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco?
- ¿Cuánto es la eficiencia del sulfuro de sodio para remover concentraciones elevadas de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco?
- ¿Cuánto es la eficiencia del tratamiento complementario con el biosorbente de maracuyá *Passiflora edulis* para la remoción de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes Internacionales

Zhang et. al (2020) en su investigación denominada “*Preparation of biochar by mangopeel and its adsorption characteristics of Cd(II) in solution*” plantearon como objetivo principal probar la posibilidad de adsorción de la cáscara de mango y así posicionarse como un estudio que sirva de referencia para investigaciones futuras sobre el uso de esta técnica en el tratamiento de aguas residuales. Siguiendo esta línea, para el método primero se consideró el uso de reactivos analíticos (ej. NaOH, NaNO₃, HCl, CaNO₃, etc.), muestras de cáscaras de mango y una preparación de biocarbón, esta fue obtenida al ubicar muestras de cáscaras de mango en un horno eléctrico con tubos de cuarzo durante 2 horas para luego ser trituradas hasta convertirlas en polvo. Después de esto, se hizo una caracterización del biocarbón,

seguido de experimentos de adsorción de Batch en los cuales se utilizó la solución de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ como electrolito de fondo y una solución madre de Cd (1000mgL^{-1}) con un movimiento constante de 150 rpm a 25°C (se consideró la cinética de adsorción, los efectos de la dosis y el Ph de la solución inicial sobre la adsorción de Cd, y el mecanismo de adsorción), y se concluyó con un análisis estadístico. Como resultados principales, se tuvieron los siguientes: con relación a la caracterización fisicoquímica se puede observar que para elementos como el porcentaje de rendimiento, cenizas, pH y C disminuyen con la exposición a la pirólisis, mientras que elementos como el H, N y O aumentan de acuerdo al grado de exposición a la misma. Asimismo, se obtuvo que los modelos de isoterma Langmuir y cinética de pseudo segundo orden fueron los que lograron ajustarse mejor, cuestión que sugiere que se realiza una adsorción en monocapa. De igual manera, se encontró que el biocarbón a 500°C fue el que mejor rendimiento tuvo; ya que, logró una adsorción del 67,7%. Como conclusión, los investigadores mencionan que el biocarbón de cascara de mango resulta ser una alternativa económica y viable para la eliminación de Cd en las aguas residuales.

Pavithra et. al (2021) en su estudio titulado *“Batch adsorption studies on surface tailored chitosan/orange peel hydrogel composite for the removal of Cr(VI) and Cu(II) ions from synthetic wastewater”* tuvieron como objetivo principal examinar la capacidad de adsorción de la cáscara de naranja para la eliminación de iones Cr y Cu en aguas residuales sintéticas. Es así como, para el método se emplearon cáscaras de naranja y quitosano obtenidos de una tienda local en India, también se recolectaron reactivos como nitrato cérico y amónico, ácido acético, hidróxido de sodio, entre otros productos químicos. Luego, se llevó a cabo la preparación del compuesto de adsorción de hidrogel empleando las cáscaras de naranja, para después realizar los estudios de adsorción (la solución se preparó al disolver 0,283g de potasio y 0,3929g de sulfato de cobre en 1000ml de agua desionizada), un análisis instrumental y estudios con un espectroscopio FTIR. Algunos de los hallazgos principales

fueron los siguientes: el compuesto de hidrogel pudo ser preparado de manera exitosa mediante métodos como la mezcla, la reticulación y el injerto, el tiempo de contacto óptimo fue de 240 min con una dosis de adsorbente de 5g, el pH óptimo para los iones de Cr fue de 4 mientras que para los iones de Cu fue de 5, la capacidad de adsorción fue de 80.43% para Cr y 82.47% para Cu. Por todo lo anterior, los autores establecieron que el compuesto de hidrogel derivado de la cáscara de naranja debe ser considerado como una opción que destaca por su costo y efectividad al eliminar metales pesados.

Ansaria et. al (2019) en su estudio titulado “*Litchi chinensis peel biomass as green adsorbent for cadmium (Cd) ions removal from aqueous solutions*”; por lo cual, establecieron como finalidad de la investigación evaluar la capacidad de adsorción de la biomasa del Litchi para así poder crear un método óptimo en costo y efectividad para remover el Cd(II) de los efluentes. En ese sentido, se comenzó la preparación de la biomasa de Litchi recogido de un mercado local cuyas cascaras pasaron por secado en un horno eléctrico a una temperatura de 60°C (con muestras de partículas de 43, 104 y 175µm). Luego se llevó a cabo la preparación de la solución de cadmio y su estándar (entre 0.2-10mg/L), seguido a ello se llevaron los estudios de biosorción de Batch (considerando efectos de tamaño de partícula, de dosaje y de pH). Con relación a los resultados encontrados, se obtuvieron los siguientes. En primer lugar, la biosorción de cascaras de Litchi fue de 44% a un pH3, 71.87% a un pH de 4 y 76.64% a un pH de 5; es decir, cuando hay menos pH hay una gran concentración y movilidad de iones de hidrógeno. En segundo lugar, con relación al tamaño de las partículas, la remoción fue de 92.66% a un tamaño de 43 µm, de 80.22% a un tamaño de 104 µm, de 65.78% a un tamaño de 175 µm, y 60.66% a un tamaño de 246 µm. En tercer lugar, los estudios espectrales demostraron que la intensidad de las bandas disminuyó en la región de 1.200 a 900 cm⁻¹ y la forma de estas varió entre 1.650 y 1.350 cm⁻¹. Como conclusión se obtuvo que la biomasa de Litchi demostró ser efectiva para la remoción de cadmio y, que puede ser afectada de manera

considerable por variables operacionales como las desarrolladas anteriormente.

Akporomie y Conradie (2020) en su investigación denominada “*Banana peel as a biosorbent for the decontamination of water pollutants. A review*” decidieron realizar una reseña sobre los factores, el equilibrio de mecanismo y la reutilización de la cascara de banana para reducir la contaminación. Para ello llevaron a cabo una extensa revisión bibliográfica para poder evaluar la efectividad de la cáscara de banana en la remoción de contaminantes de las aguas residuales. Es así como; en primer lugar, se establece que al igual que para otros bioadsorbentes y sus derivados, elementos tales como el pH en los efluentes, la temperatura, el tiempo de contacto, el dosaje del biosorbente y la concentración del contaminante deben ser considerados al momento de evaluar la efectividad de remoción de metales pesados. En segundo lugar, el hecho de que se considere el pH como un compuesto importante se debe a la relación con la hidrólisis, los potenciales redox y la complejación de ligandos de los contaminantes determinados. Por ejemplo, para metales como el uranio y torio la biosorción de metales incrementa con un pH cada vez mayor. En segundo lugar, el dosaje influye en tanto, diversos estudios han demostrado que la conglomeración de partículas de la cascara de plátano disminuye los sitios de adsorción para lograr una eliminación alta de contaminantes. Finalmente, existe una necesidad de poder tener un equilibrio para poder indagar la capacidad de absorción de biosorbente lo cual radica en la obligación de investigar los contaminantes en los efluentes a los cuales se les aplicará el tratamiento.

1.2.2 Antecedentes Nacionales

Paytan (2021) en su investigación denominada “*Adsorción de Plomo (II) usando cascara de plátano (Musa Pradisiaca) en aguas contaminadas*” tuvo como objetivo principal determinar la capacidad de adsorción de la cáscara de plátano para remover plomo en aguas contaminadas; asimismo, sus objetivos específicos fueron: describir la variación de diámetro del adsorbente y el Ph de solución, calcular el tiempo que emplea la

biomasa para adsorber la mayor cantidad de iones de este elemento y comparar el modelo estadístico cuyo ajuste logre una mayor remoción del plomo. Para el método de la investigación, se emplearon las bases de los estudios experimentales y cuantitativos. Así, primero se realizó la producción del biosorbente derivado de biomasa residual (por medio de la recolección de 5kg de plátanos del mercado mayorista de Huancayo) que fue creado en el laboratorio de tecnología de la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente. La población estuvo compuesta por una solución madre de 1000 ppm de nitrato de plomo con unas muestras de 50, 100, 150, 200 y 250 ppm. Asimismo, se realizó la caracterización de la biomasa por medio de la espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier y un diseño experimental para determinar la capacidad de remoción. Es así como, los resultados encontrados fueron los siguientes: el tiempo de equilibrio y la isoterma de adsorción que resultaron útiles para tener los resultados óptimos fueron 50 minutos y la ecuación de Freundlich, el diámetro de la partícula influye en el porcentaje de remoción siendo así que los mejores diámetros fueron 212 μm (97.50%) y 150 μm (88.5%).

Paredes y Valle (2020) en su estudio titulado “*Evaluación de la capacidad de adsorción de la cáscara de limón (citrus limón (l.) Burm. F.) Para la remoción de cromo (VI) de aguas residuales de la empresa textilera Hualhuas*” plantearon como objetivo principal determinar la capacidad de adsorción de la cáscara de limón para erradicar el cromo; de igual manera, se tuvieron dos objetivos secundarios: determinar la cantidad de adsorbente y el tiempo de contacto necesarios para remover el cromo. Es así como, la investigación fue de tipo experimental, constituida por cuatro etapas: realizar el tratamiento del adsorbente, caracterizar el adsorbente, obtener los resultados experimentales, y discutir los hallazgos. Siguiendo esta línea, se encontraron los siguientes hallazgos: 1. de las cantidades de 20, 40 y 60g de cáscara de limón la última obtuvo el porcentaje óptimo de remoción siendo este 96%, 2. de los tiempos de contacto de 8h, 10h y 12 h fue el segundo el cual obtuvo la mejor cantidad de

erradicación siendo este de 96%, 3. el modelo matemático que logró explicar mejor estos resultados fue el de la isoterma de Langmuir y 4. la mejor reducción de plomo fue de 2ppm con un dosaje de 60g de adsorbente y 10 h de exposición.

Murrieta (2019) en su investigación denominada “*Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado mediante cáscara de naranja (Citrus Cinensis) para la remoción de iones de Arsénico en aguas residuales industriales*” planteó como objetivo general evaluar el uso de la cáscara de naranja para remover el arsénico de aguas contaminadas. Para ello, se realizó un estudio bibliográfico en el cual se recolectaron una gran cantidad de investigaciones que pasaron por un filtro acorde a lo requerido para evaluar que sus resultados y la información provista por los mismos sea derivada de lo encontrado en sus resultados, exista coherencia entre los mismos y contengan datos actualizados sobre la problemática. Es así como, algunos resultados fueron los siguientes. Para Cadmio el porcentaje de remoción suele ser entre 75% a 81% siendo las mejores condiciones una temperatura de 25°C con un pH de 5, 200rpm, un tiempo de contacto de 1h y una concentración de adsorbente de 0.8 g/L, para Cobre fue de entre 30-40% a 90% siendo las mejores condiciones 25°C con un pH de 5, 200rpm, un tiempo de contacto de 1h y una concentración de adsorbente de 0.5 g/L, Plomo de 30-40% a 100% siendo las mejores condiciones 25°C con un pH de 5, 200rpm, un tiempo de contacto de 1h y una concentración de adsorbente de 0.1 g/L, y, para Arsénico de 30-20% a 96% siendo las mejores condiciones de °C25-35 con un pH de 6,7-8, un tiempo de contacto de 1h y una concentración de adsorbente de 0.106 g/L.

Barazorda y Lima (2019) en su estudio titulado “*Evaluación de la capacidad de adsorción de oro con carbón activado obtenido a partir de la cáscara de castaña*”; por lo cual, su objetivo general fue determinar la capacidad de este biosorbente mientras que sus objetivos específicos fueron encontrar el modelo de equilibrio, encontrar los parámetros que permitan adsorber la mayor cantidad de oro y determinar la eficacia del carbón de cáscara de

castaña. Para cumplir con estos objetivos se planteó una metodología tuvo como muestras el carbón activado a partir de la cáscara de castaña, reactivos (gas nitrógeno, hidróxido de sodio, agua destilada, nitrato de plata, alcohol, carbonato de calcio, yoduro de potasio, etc.). Para el procedimiento primero se hizo la caracterización de la muestra (se determinó la humedad, la materia volátil, y el carbón fijo), luego se llevó a cabo la preparación del carbón activado (con fases de impregnación, secado, carbonización y activación, lavado y secado), después se llevó a cabo el ensayo de adsorción del oro y finalmente se llevó a cabo el análisis estadístico. Es así como se obtuvieron los siguientes hallazgos. En primer lugar, la caracterización de la muestra de castaña mostró un contenido de ceniza de 0.84%, de carbón fijo de 5.03%, de humedad de 9.92%, la materia volátil de 79.2% mientras el carbón activado con castaña mostró un 3.71% de humedad, de 23.4% de cenizas, y de 9 de pH. En segundo lugar, las condiciones de adsorción óptima fueron de 11.5 de pH, 6 g/L de dosaje y el tiempo de contacto favorable de 3h para la adsorción de oro. En tercer lugar, la máxima cantidad de oro adsorbida fue de 0.74 mgAu/g local fue igual a una eficacia de adsorción de 64.76%.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Optimizar el uso del sulfuro de sodio con el biosorbente de la cascara de maracuyá *Passiflora edulis* para la remoción de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco, 2022.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los niveles de los parámetros fisicoquímicos de los drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.
- Determinar la eficiencia del sulfuro de sodio para remover concentraciones de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.
- Determinar la eficiencia de manera complementaria con el biosorbente de maracuyá

Passiflora edulis para la remoción de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.

1.4 Justificación

Actualmente las diversas actividades del hombre se traducen muchas veces en efectos negativos sobre el medio ambiente. Las actividades a nivel industrial minero generan una serie de compuestos y elementos tóxicos como producto de su procesamiento, los cuales en muchos casos quedan expuestos al ambiente como es el caso de los relaves y drenajes ácidos, quienes requieren ser tratados para reducir el impacto en los diferentes ecosistemas, en tal sentido, existe una preocupación por los elementos metálicos que presentan elevados niveles de toxicidad como es el caso del Cadmio y el Cobre, que al estar en estado soluble y en medio ácido pueden llegar a contaminar los diferentes compartimientos ambientales como lagos, ríos, aguas subterráneas, etc.

Desde el punto de vista social la investigación nos permitirá proponer una alternativa para el tratamiento de metales pesados, de manera que ya no queden expuestos al medio ambiente, y donde los pobladores cercanos a dicha laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco, no corran riesgos de intoxicaciones por posibles infiltraciones hacia las aguas subterráneas. Los drenajes ácidos sin previo tratamiento por lo general exceden los Límites Máximos Permitidos establecidos en la norma del sector minero, motivo por el cual se requiere realizar un tratamiento que asegure dicho cumplimiento, en tal sentido se propone un método de optimización del sulfuro de sodio con cascara de naranja como biosorbente de Cadmio y Cobre a fin de alcanzar las mayores eficiencias combinando el uso de un compuesto inorgánico y orgánico.

Por lo tanto, resulta de gran interés desarrollar métodos de tratamiento de drenajes ácidos con presencia de metales pesados para su eficaz remoción, que muestren ventajas comparativas con relación a las técnicas convencionales que actualmente se emplean, y que

incrementan los costos operativos, en este sentido el uso combinado de un compuesto inorgánico con un orgánico permitirá mejorar la biodegradación, no dejando sustancias residuales en el ambiente, así como su reducción de costos en general.

Desde el punto de vista metodológico, la presente investigación desarrollará una metodología basada en la prueba de jarras o Jar Test de tipo experimental, donde se aplicarán diferentes dosis de reactivos inorgánicos a base de sulfuro de sodio en primer lugar; y dosis de biosorbente de naturaleza biodegradable en segundo lugar, a fin de encontrar las mayores eficiencias de remoción de manera combinada.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

La optimización del sulfuro de sodio con biosorbente de maracuyá *Passiflora edulis* permitirá mejorar la remoción de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco, 2022.

1.5.2 Hipótesis Específicas

- Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles en los drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.
- El Sulfuro de Sodio permite remover parcialmente los niveles de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.
- El biosorbente de Maracuyá *Passiflora edulis* como complemento mejora la eficiencia de remoción en concentraciones elevadas de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 Parámetros de la Calidad del Agua

Son considerados como los límites o aquellas medidas representativas que pueden ser admitidos en relación a la calidad del agua que permiten que no se encuentre en niveles que puedan llegar a ser perjudiciales para el medio ambiente, en los usos del mismo recurso o para los organismos vivos; además, estos deben ser establecidos de acuerdo al reglamento o condiciones ambientales presentes en el territorio (Rodríguez, 2019). Además, de acuerdo al MINAM (2010) estos son distribuidos de la siguiente manera: microbiológicos y otros organismos (bacterias, virus, huevos y larvas, organismos de vida libre), de control obligatorio (coliformes totales, coliformes termotolerantes, color, turbiedad, pH y residual de desinfectante), adicionales de control obligatorio (microbiológicos, organolépticos, inorgánicos y radioactivos). Otra clasificación es la siguiente:

Figura 1

Clasificación de los Parámetros Indicadores de la Calidad de Agua

Clasificación	Parámetros
Químicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No específicos <ul style="list-style-type: none"> - Alcalinidad - pH - conductividad - Dureza - Oxígeno disuelto (OD) ▪ Específicos <ul style="list-style-type: none"> - Nitrógeno (NH₄, NO₃) - Cloruros - Detergentes - Fenoles - Pesticidas - Material orgánico oxidable
Físicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Color ▪ Temperatura ▪ Turbiedad ▪ Olor ▪ Sabor
Hidrológicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Caudal ▪ Velocidad ▪ Mezcla
Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Patógenos <ul style="list-style-type: none"> - Coliformes fecales - Virus - Vibrio cólera ▪ No patógenos <ul style="list-style-type: none"> - Población mesófila - Zooplancton - Algas

Nota. Rodríguez, 2019.

2.1.2 Aguas Residuales

Son aquellas aguas en la cual su calidad se encuentra alterada por el contacto con residuos (sobrantes) de las diversas actividades que se realizan, desde las aguas que son utilizadas a nivel doméstico, como aquellas que se usan en otro tipo de tareas como el caso de la ganadería o hasta de la agricultura, todo eso que se mezcla con el agua se le denomina aguasresiduales.

Las aguas residuales son de color negro y se denominan aguas negras, aguas servidas y son una mezcla compleja de agua combinada con impurezas orgánicas e inorgánicas suspendidas y diluidas; existen autores que diferencian aguas residuales y aguas servidas, mencionando que las aguas residuales son la mezcla de aguas domésticas e industriales, mientras que las aguas servidas, son exclusivamente del uso doméstico. El concentrado del contaminante es mínimo y se expresa en mg/l, lo que indica miligramos de contaminante por litro de mezcla ya que es una relación de peso/volumen que se aplica para mostrar concentrados de componentes en agua, aguas residuales, desperdicios industriales y otras soluciones diluidas, de forma que las densidades relativas DR de las soluciones disueltas sea equivalente a la del agua (Janampa y Quiroz, 2021).

2.1.3 Aguas Residuales de Minería

De acuerdo a Hernández et. al (2014), estas son aquellas producidas por las actividades provenientes de la minería y metalurgia, su contaminación o la presencia de determinados contaminantes depende de elementos tales como: tipo de operación minera, hidrología de la mina, la naturaleza del mineral, los procesos de costo/beneficio, los procedimientos mediante los cuales los depósitos de relaves, localización de los relaves, entre otras características. Según estos mismos autores aquellos tipos de agua que son usualmente el origen de estas aguas residuales son las siguientes:

- ✓ Aguas provenientes de minas

- ✓ Drenajes Ácidos de minas y de Relaves
- ✓ Relaves mineros
- ✓ Aguas residuales domésticas y aquellas provenientes de plantas de fundiciones
- ✓ Aguas Ácidas de depósitos de desmontes

De igual manera, estas solo son consideradas como origen de aguas residuales si comparten las siguientes características: presencia de sólidos suspendidas que sobrepasen el Límite Máximo Permisible, pH que se encuentre debajo de la normativa y concentraciones exponenciales de metales disueltos (Pb, Cu, Zn, Fe, Mg, As, Mg, Ag, Ni y Cd) en tanto sean perjudiciales para el medio ambiente (Rodríguez, 2019).

2.1.4 Metales Pesados

Son un grupo de compuestos químicos que se encuentran en el medio ambiente y se caracterizan por un peso molecular alto y que pueden ser empleados a favor de la población humano; de igual manera, su mal manejo puede lograr alterar el ambiente, perjudicando la salud, la flora y la fauna (Lazarte et. al, 2019). Siguiendo esta línea, estos no suelen ser degradables ni destruibles; por lo cual, la población tiende a estar expuesta debido a su gran difusión en el medio ambiente (aire, tierra, agua, flora, fauna) y a través de diversas actividades cotidianas (ducha, baño, ingesta de agua y/o alimentos) (Cabrera, 2017).

Algunos pueden presentar una elevada toxicidad que termina siendo perjudicial en la salud, aunque se encuentren en concentraciones mínimas, tienen propiedades como la bioacumulación, persistencia, toxicidad y biotransformación lo cual lleva a que se encuentren de manera consistente en diversos entornos pese a que pase una cantidad de años elevada, en la actualidad la actividad del ser humano ha logrado que su presencia crezca de manera exponencial y riesgosa (García, 2021).

2.1.5 Clasificación de los Metales Pesados

Según Rodríguez (2019) los metales pesados pueden ser categorizados en los siguientes grupos:

- ✓ Oligoelementos o micronutrientes
- ✓ Los que no poseen función biológica

Es así como, por un lado, el primer grupo se destaca por estar compuesto por elementos que los organismos vivos que necesitan o emplean en cantidades mínimas para llevar a cabo funciones obligatorias para que el organismo funcione con normalidad. Dentro de ellos se encuentran elementos como el Arsénico, Boro, Cobalto, Cromo, Cobre, Hierro, Molibdeno, Manganeso, Níquel, Selenio y Zinc. Por otro lado, el segundo grupo se destaca por estar compuesto por aquellos que no son de utilidad para los organismos vivos, y que, en concentraciones elevadas resultan perjudiciales, cabe resaltar que esto último depende de su reactividad.

2.1.6 Cadmio Cd

Es un metal cuyas siglas son Cd, se encuentra dentro de la categoría de metales pesados cuya densidad es de 8,65 g.cm y se halla usualmente en la corteza terrestre destacando por ser encontrado combinado con el Zinc por la compatibilidad de sus propiedades químicas mientras que sus propiedades físicas son su maleabilidad, ductilidad y flexibilidad; además, sus características principales abarcan desde la resistencia a la corrosión, una excelente conductividad con relación a la electricidad, tener un punto de ebullición considerado como bajo, hasta la resistencia a componentes químicos y temperaturas altas (Dionisio, 2020).

De acuerdo a Huaraca et. al (2020) algunos factores que podrían afectar el movimiento y disponibilidad del cadmio en el medio ambiente son: la temperatura del suelo; al incremento de la temperatura las interacciones se aceleran lo cual incita una adsorción

mayor, la textura del suelo; puede crear una variación en la acumulación y fijación de metales pesados, la acidez del suelo; el pH puede cambiar la solubilidad e intercambiabilidad del Cd, potencial redox del suelo; dependiendo de si es oxidativo o reductor puede existir la biodisponibilidad, conductividad eléctrica; también influyen en la biodisponibilidad, y la capacidad de intercambio catiónico.

2.1.7 Cobre (Cu)

Es considerado como un metal de transición, cuyo símbolo se representa con Cu mientras que su número atómico es el 29, a su vez, se puede reconocer por el color que varía entre rojo y anaranjado, así como el brillo metálico que este posee. Además, según Urcón (2021) este metal se produce en estados de oxidación +1; las sales provenientes de esta son poco solubles y caracterizadas por su diamagnetismo y blandura, +2; sus sales son más solubles y paramagnéticas, y +3, se produce generalmente cuando los oxidantes son fuertes. Existe la posibilidad de encontrarlo de manera natural en elementos tales como la calcocita, calcopirita y la malaquita, aunque también se puede producir por procedimientos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos. Una característica importante es que logra ser purificado mediante el proceso de electrolisis pues esta reduce la conductividad del metal.

2.1.8 Contaminación por Metales Pesados

Algunos metales tóxicos como el Plomo, Mercurio, Cadmio, Arsénico y Cromo son perjudiciales en tanto se detecta su presencia en altas concentraciones para distintos organismos, causando daños permanentes en su salud y bienestar; es por ello por lo que, estas se debería tener prioridad con el tratamiento de las aguas contaminadas pues, muchas veces estas no son purificadas y lo cual termina teniendo consecuencias negativas en las aguas subterráneas (Rodríguez, 2019). Es así como los efectos que puede tener la contaminación por metales pesados abarcan cuestiones que van desde la acumulación de estos en plantas y tejidos orgánicos hasta la permanencia por un largo tiempo en el medio ambiente (por su

dificultad de degradación) y la ingesta de plantas, animales o seres humanos (ocasiona presencia de síntomas de intoxicación).

La introducción de metales pesados a cuerpos de agua se lleva a cabo por los residuos industriales que se depositan sin pasar por tratamiento alguno de depuración previo en los diversos sistemas (tradicionales y modernos) de recolección de agua que luego son evacuados en efluentes como los ríos, lagos, diversos medios acuíferos, cabe resaltar que, cuando su presencia se encuentra en concentraciones mínimas se les denomina elementos traza (García, 2021).

2.1.9 Aguas Ácidas de Mina

Son aquellas aguas que poseen un pH encontrado entre 2 y 4, presentan una cantidad alta en cuanto a contenido de metales disueltos y suelen ser fáciles de encontrar debido al color ocre-amarillento y el aumento de turbiedad de las aguas. Con relación a los drenajes ácidos de mina, diversos estudios empíricos han mostrados evidencias sobre los efectos negativos que puede tener la presencia de estas en el ecosistema tales como: la muerte de peces y crustáceos, daños al ganado y destrucción de cultivos y distintos cuerpos de agua (Urcón, 2021).

2.1.10 Drenaje Ácido de Mina (DAM)

También denominado como drenaje de roca ácida, es conocido a lo largo de la historia como uno de los mayores contaminantes del agua en una gran cantidad de países que proviene de las actividades mineras, surgiendo así de una combinación de factores físicos, químicos y biológicos; asimismo, este suele ser producido por la disolución oxidativa de minerales sulfurados (Simate y Ndlovu, 2014). Según Urcón (2021), sus características abarcan desde un pH ácido hasta niveles altos de sulfatos y metales pesados (Fe, Al, Mn, Cu, Zn, Pb, As, etc.).

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 de drenaje en minas son los sulfuros de hierro (pirita, 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).

2.1.11 Remoción de Metales Pesados

Metales pesados que incluyen elementos tales como el Cd, Cr, Cu y Pb se hallan en las aguas residuales debido a diversas actividades y procedimientos llevadas a cabo desde el ámbito industrial; por lo cual, su presencia incrementa (así como sus concentraciones se elevan) y termina siendo riesgosa debido a su característica de toxicidad que puede causar daño a los organismos a su alrededor (Simate y Ndlovu, 2014). En ese sentido, la mayoría de los tratamientos de agua remueven grandes cantidades de metales pesados, los cuales no se degradan, sino que se transforman o se remueven del medio. Es por ello que se han estructurado una gran variedad de métodos para lograr erradicar los metales pesados en los cuerpos de agua, algunos de ellos son: biosorción, electrodiálisis, intercambio iónico y ultrafiltración, cabe resaltar que estos son solo unos cuantos de la cantidad tan amplia que existen de procedimientos tradicionales y modernos para disminuir las concentraciones de los metales pesados, aunque muchos pueden ser económicamente elevados (Kuyucak, 1990).

2.1.12 Métodos convencionales usados en el Tratamiento de Aguas

Las metodologías convencionales para la purificación de aguas se originan al emplear procedimientos físicos, químicos o en combinación a través instrumentos y reactivos. Entro de los principales métodos se tienen los siguientes (Caviedes et. al, 2015):

- ✓ **Intercambio Iónico:** es un procedimiento mediante el cual los iones en la solución son transferidos a una matriz sólida que se encarga de liberar iones que contienen la misma carga, pero son de un patrón diferente; es decir, este método se basa en la separación física de iones que no deben ser modificados a nivel químico. Las ventajas principales son: se recupera el valor del metal, es selectivo, reduce la cantidad de los lodos producidos y la interacción de descarga.
- ✓ **Precipitación Química:** es un método más utilizado con relación a las actividades industriales que se basa en la disminución de los iones metálicos presentes en soluciones acuosas, algunos estudios demuestran que puede obtener una eficacia de hasta 80%, por ello, es importante considerar elementos tales como tipo y cantidad de concentración del metal, solubilidad del metal, temperatura, velocidad de precipitación, agente de precipitación y pH (que se encuentre entre 9 y 12). En resumen, esta técnica se basa en la separación de iones de metal para así producir hidróxidos o sulfuros metálicos mediante la adición de sustancias que son denominados precipitantes. Sus principales ventajas son: sencillez operacional, coste económico y selectiva; sin embargo, el costo puede elevarse por la producción de lodos.
- ✓ **Filtración por Membrana:** es una tecnología considerada como una metodología activa que permite sustraer elementos orgánicos e inorgánicos que son generados en procedimientos de galvanoplastia y permite recuperar las sales metálicas de estos; es así como, este se lleva a cabo mediante la retención o separación de compuestos de una matriz líquida para que luego esta atraviese una membrana de espesor y tamaño específico

de acuerdo al sustrato a retener y diversos tipos de iones. Sus principales ventajas son: eficiencias elevadas, necesita un espacio limitado, no es selectiva y presenta una facilidad con relación a su operación; sin embargo, produce una cantidad elevada de lodos que contienen metales. La filtración por membranas se divide en 3 procedimientos de acuerdo al tamaño de partícula que se desea retener y de la presión empleada, las cuales son:

- **Microfiltración:** método básico de la filtración con membranas, este tiene como objetivo principal separar los sólidos de sustratos líquidos con un funcionamiento a bajas presiones.
- **Ultrafiltración:** es un método que se basa en un procedimiento de fraccionamiento específico que emplea presiones que pueden llegar hasta 10 bar al conglomerar sólidos en suspensión y solutos de peso molecular (<1000 umas), generalmente su uso se encuentra en el fraccionamiento proteico, de leche y de suero. Su funcionamiento se encuentra en la utilización de fuerza de presión hidrostática para impulsar un soluto, usualmente agua, hacia una membrana semipermeable que logra brindar el paso del agua y solutos de bajo peso molecular. Sus ventajas son las siguientes: logran funcionar de manera óptima a elevadas temperaturas y bajas presiones, no requieren de una gran cantidad de energía para su funcionamiento, se emplean usualmente en la remoción de metales pesados a aguas residuales, aunque los compuestos orgánicos también pueden ser erradicados.
- **Nanofiltración:** es un procedimiento de purificación que emplea membranas cuyos poros son diminutos (<1 nm) y hace uso de presiones de funcionamiento entre 10-50 bar; es así como, esta tecnología se basa en la retención de iones o moléculas neutras que tengan un peso molecular entre $<200-300$ m/mol y se encargan de rechazar iones inorgánicos. Sus principales ventajas son la facilidad

- de operación del método, confiabilidad, uso bajo de energía y permite la retención de partículas entre 0.001-0.01 mm, así como logra recuperar compuestos de gran valor comercial y elevada pureza.
- **Osmosis Inversa:** es una técnica de permeabilidad mediante una membrana densa que permite separar a través de la difusión controlada o cribado (se encuentra entre 2070 a 10350 Kpa), logra seleccionar compuestos de hasta 0.0001mm, y puedan retener compuestos contaminantes. La ventaja principal se encuentra en la capacidad de poder seleccionar elementos diminutos; sin embargo, existen desventajas que se encuentran desde el costo alto para emplear este método, el consumo elevado de energía en el bombeo de efluentes, obstrucción de membranas y mantenimiento periódico.
 - **Electrodiálisis:** proceso de separación de membranas que tiene como objetivo diluir disoluciones de electrolitos mediante el uso de membranas de intercambio iónico y la aplicación de un potencial eléctrico como fuerza motriz. Es parecida a la osmosis inversa en cuanto a la eficiencia y consumo energético, se emplea para recuperar metales valiosos. Presenta permeabilidad selectiva y dependiendo del ion a remover se clasifica en membranas de intercambio catiónico y membranas de intercambio aniónico las cuales pueden eliminar iones cargados de hasta 0.0001 um (Cabrera, 2017).
 - ✓ **Oxidación – Reducción:** se utiliza primordialmente en la erradicación de iones metálicos, este procedimiento se basa en el añadido de ciertas sustancias (oxidativas o reductivas) en los efluentes que logren la transformación o cambio en el estado de oxidación de un elemento contaminante o tóxico a otro estado que sea menos perjudicial y se caracterice por su facilidad de suprimir a través procesos físicos de purificación de aguas. Este tratamiento es el más empleado cuando se trata de

erradicar cromo en las aguas residuales; puesto que, el cromo usualmente suele ser encontrado en un estado alto de oxidación; por lo cual, necesita de agentes reductores como por ejemplo el dióxido de azufre o el biosulfuro sódico para llegar a degradar el cromo hexavalente a cromo trivalente.

- ✓ **Coagulación y floculación:** es una técnica por la cual se logra que el coloide se desestabilice y se aglomere después. Está compuesto por dos facetas: la coagulación, en esta se elimina o neutraliza la capa eléctrica de los coloides por medio de la añadidura de coagulantes (sustancias químicas), y la floculación, en esta fase los coloides con conglomerados a través de la atracción de partículas por los floculantes. Las condiciones más importantes para que este procedimiento se de manera efectiva son: la dosis química (suele ser alumbre, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso y cal), el efecto energético de la mezcla y el tiempo de esta.

2.1.13 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).

2.1.14 Tipos de Adsorción

La adsorción es un proceso mediante el cual se une una sustancia sobre la superficie de otra fase 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. 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 fisosorbidas 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 un 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 fisorción y quimisorción.

Tabla 1*Diferencias entre la adsorción física (fisorción) y química (quimisorción)*

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

Nota. Aylas, 2018.

2.1.15 Espectrofotometría de Absorción Atómica EAA

Es una técnica de medida de la que permite describir la cantidad de metales en una muestra, en esta el parámetro que se emplea para caracterizar la absorción de energía en este instrumento es la absorbencia, y se lleva a cabo cuando los electrones de los átomos de la muestra son producidos de una cantidad de energía específica lo cual ocasiona que se incremente el radio de giro de electrones (Cabrera, 2017). Los componentes esenciales son: fuente de energía radiante; cuya función es emitir la longitud de onda, sistema de atomización; cuya función es suministrar la energía calorífica necesaria y se formen los átomos libres, monocromador; que se utiliza para aislar las radiaciones, y el detector (Martínez, 2020). Además, existen dos equipos dentro de la EAA: llama y horno de grafito, para poder establecer cuál de adapta mejor a las necesidades analíticas e la investigación se debe tener en consideración elementos tales como los límites de detección, rango de trabajo analítico, calidad de datos, interferencias, costo, facilidad de uso, etc.

2.1.16 Método de Jarras

Es la técnica más empleada para poder calcular la dosis óptima de químicos, entre otros parámetros, para así poder potabilizar el agua, en esta se suelen simular procedimientos que varían desde la coagulación, floculación y sedimentación en un entorno de laboratorio. Asimismo, existe una gran cantidad y tipo de equipos para poder realizar esta prueba; sin embargo, dentro de su procedimiento lo esencial es emplear una serie de jarras de manera simultánea y reproducir la probabilidad de variación de velocidad de agitación (rpm); además, usualmente se utiliza un pH entre 7,3 a 7,6 (Fúquene y Yate, 2018). Para poder llevar a cabo este ensayo de jarras se deben tener como datos previos elementos como el pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua. Asimismo, según Romero (2004) se deben considerar las siguientes pautas:

- ✓ Características del agua cruda.
- ✓ Calidad requerida del efluente.
- ✓ Disponibilidad del terreno.
- ✓ Costos de construcción y operación del sistema de tratamiento.
- ✓ Confiabilidad del sistema de tratamiento
- ✓ Facilidad de optimización del proceso.

2.1.17 Maracuyá (*Passiflora edulis*)

Se origina en las especies de las Passifloras, en este grupo existen alrededor de 400 variedades. Esta fruta también se encuentra en el territorio peruano, y, a su vez, se encuentran dos variedades: la púrpura/morada; suele desarrollarse en climas cálidos y con una mayor altitud que puede ser consumida, y la amarilla; suele desarrollarse también en climas cálidos, pero a una altitud de 1000m aproximadamente que suele ser empleada para erradicar metales como el Cu con 82% de remoción, Pb con 93% de remoción y Zn con 96% de remoción en aguas residuales (Lazarte et. al, 2019).

El maracuyá (*Passiflora edulis*) es una fruta semiácida trepadora originaria de la Amazonía de Brasil y es conocida como “fruta de la pasión” en países angloparlantes perteneciente a la familia de la Passifloras (García, 2021).

- ✓ **Clasificación Taxonómica**

Tabla 2*Clasificación Taxonómica del Maracuyá*

División:	Espermatofita
Subdivisión:	Angiosperma
Clase:	Dicotiledónea
Orden:	Arquiclamídea
Subclase:	Passiflorales
Suborden:	Flacourtiinae
Familia:	Passifloraceae
Género:	Pasiflora
Especie:	Edulis

Nota. García, 2021.

✓ **Características morfológicas**

La maracuyá es una planta que posee ramas que pueden llegar hasta los 20m de largo, sus hojas son lisas caracterizadas por un color verde brillante, su fruto es una baya ovoide con corteza de color amarillizo y sus flores son hermafroditas con estilo curvado que se abren en la tarde y se cierran cuando llega el anochecer (García, 2021).

Tabla 3*Caracterización morfológica de la maracuyá*

Descripción	Datos morfológicos
Hábito de crecimiento	Trepador
Tipo de flor	Hermafrodita
Color del follaje	Verde intenso
Día del inicio de floración	155
Forma del fruto	Ovalado
Día de cosecha	215
Longitud del fruto (cm)	7.74
Diámetro del fruto (cm)	7.2
Color de la pulpa	Amarillo
Color de la corteza del fruto	Amarillo
Número de semillas por fruto	250

Nota. García, 2021.

2.1.18 Relave Quiulacocha

El depósito de relaves de Quiulacocha se ubica en la microcuenca Quiulacocha, en la sierra central del Perú, a una altura aprox. de 4 265 msnm, en el departamento de Pasco, provincia de Pasco y Distrito de Simón Bolívar, entre las coordenadas Latitud 8 820 000 N y Longitud 362 000 E. El depósito de relaves Quiulacocha se orienta de suroeste a noreste y se encuentra limitado por el noreste con el depósito de desmonte (DDM) Excélsior, por el noroeste (NO) con cerro Shuco (4 400 msnm) y por el sureste por la pampa Jogoj (4 370 msnm).

La temperatura máxima media anual es de 12,1 °C y la mínima media anual es de 2,5 °C. Las mayores temperaturas corresponden al mes de noviembre y las menores al mes de

julio. La precipitación media anual es de 1 153,9 mm. Las mayores precipitaciones ocurren entre los meses de octubre-abril y las menores se presentan entre mayo-setiembre. La precipitación máxima en 24 horas es de 72,4 mm (para un periodo de retorno de 500 años) y la estimación de la precipitación máxima probable (PMP) es de 178,4 mm.

La humedad promedio mensual varía entre 80,2% y 84,3% y la estación local varía entre los 63,5% y 80,3%. La presencia del mayor valor promedio mensual de humedad se da en el mes de marzo y la de menor valor en el mes de julio (Robles, 2019).

Figura 2

Ubicación de la Relavera Quiulacocho



Nota. Tomado de Google Earth.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Definición de Términos

- **Adsorción.** Es considerado como un procedimiento que ocurre simultáneamente con la absorción cuando las concentraciones de contaminantes orgánicos en el medio ambiente es bajo; es decir, es un proceso que se lleva a cabo debido a las interacciones fuertes entre fuerzas de la superficie de los microplásticos (Fu et. al, 2021).
- **Adsorbente.** Es un compuesto de estado sólido que contiene sobre su superficie un elemento usualmente presente en flujos acuosos o gaseosos, este suele destacar por su inercia química en el entorno en cual se empleará (Castañeda, 2021).

- **Bioadsorción.** Es un procedimiento fisicoquímico en el cual la concentración de sorbatos (metales pesados) es adsorbida por una bio-superficie (la cual usualmente no es una biomasa viva); es decir, es un mecanismo rápido, pasivo y reversible uniéndose a iones metálicos de efluentes a grupos funcionales (González et. al, 2017).
- **Bioadsorbente.** Es un elemento cuya función principal es la obtención de una gran cantidad de especies químicas por medio de una biomasa, algas, plantas, productos agroindustriales, entre otros; además, demuestran tener la capacidad de absorber de manera directa el metal (Castañeda, 2021).
- **Metales pesados.** Son un tipo de metales (densidad $> 5\text{ g cm}^{-3}$) que son necesarios para todo ser viviente debido a una gran cantidad de procesos metabólicos, destacan que, al ser encontrados en grandes concentraciones pueden llegar a ser tóxicos y/o perjudiciales para diversos organismos (Rai et. al, 1981).
- **Maracuyá.** Es una especie nativa de Brasil perteneciente a la familia *Passifloraceae*, que suele crecer generalmente en zonas tropicales y subtropicales en continentes como América del Sur, Asia y África; además, contiene una composición aproximada de Ca de 3.6 mg, P de 12.5 mg, Fe 0.2 mg, Riboflavina 0.1 mg, Niacina 1.5 y Ácido ascórbico 30 mg (Tripathi, 2018).
- **Contaminación.** Distribución de una sustancia química o una mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede producir efectos adversos al ambiente o sobre la salud (MINAM, 2010).
- **Drenaje Ácido 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 (Lazarte et. al, 2019)

2.3 Marco Legal Ambiental

- *La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II: Del Ambiente y los Recursos Naturales.* La Constitución Política del Perú de 1993, establece que, así como el Estado es soberano en el aprovechamiento de los recursos naturales, renovables y no renovables (patrimonio de la Nación), y de promover el uso sostenible de éstos, todo peruano tiene derecho de vivir en un entorno que se encuentre equilibrado ambientalmente y, a su vez, le permita desarrollarse de manera óptima.
- *Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991;* En el título XIII sobre delitos ambientales, esta normativa muestra las condiciones y la cantidad de años correspondientes a las sanciones que se llevarán a cabo en tanto una persona o entidad incumpla con los decretos ambientales establecidos en el territorio.
- *Ley General de Salud N° 26842, del año 1997.* En esta se vuelve a reconocer la responsabilidad del Estado peruano con el medio ambiente, determinando como este será el encargado de la prevención y atención ante problemáticas ambientales para evitar perjudicar el bienestar de los seres humanos, animales, y otras especies.
- *La Ley General del Ambiente, Ley N° 28611.* En esta ley se incluyen y reivindican disposiciones establecidas anteriormente tales como: el derecho de todo peruano a disfrutar de un ambiente saludable y la responsabilidad de colaborar con el mantenimiento de este, la Política Nacional del Ambiente debe siempre tener como finalidad intervenir antes, durante o después de problemáticas ambientales para plantear soluciones e intervenciones que puedan reducir la presencia de estas y ayudar a preservar ecosistemas, el Estándar de Calidad Ambiental es la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos contaminantes que pueden ser considerados peligrosos si sobrepasan este estándar, entre otros.
- *Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos, del 31 de marzo de 2009,* Esta ley resalta la

responsabilidad específica que tiene el Estado peruano con relación al uso, gestión y mantenimiento del agua. En ese sentido, incluye el hecho de que tantas entidades los principios de valoración y priorización del acceso al agua, la participación de los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia, gestión integrada y tutela jurídica. Asimismo, establece las entidades y autoridades que deben regir y brindar la normativa ambiental con relación al uso de agua.

- *D.L N° 1083-2008-ANA*. El presente decreto legislativo establece el marco normativo para promover el aprovechamiento eficaz y la conservación de los recursos hídricos, impulsando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada. La Autoridad Nacional del Agua, establece los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales establecen obligaciones máximas y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso. Los incentivos institucionales que promueve la Autoridad Nacional del Agua son cursos de buenas prácticas, pasantías, premios, divulgación de experiencias exitosas e impulso del uso de equipos y tecnologías innovadoras. Para los usuarios y operadores que vulneren con los parámetros de eficiencia tendrán que presentar un Plan de Adecuación para el uso eficiente de los recursos hídricos hasta cumplir en un tiempo no mayor de 5 años con los parámetros solicitados.
- *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y constituyen Disposiciones Complementarias*. Recopila las disposiciones del Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N°023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, los cuales los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua. Siendo así que 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 para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. En el Artículo 3°, define al Límite Máximo Permisible como la medida de la concentración o grado de elementos que suelen caracterizar al efluente líquido de actividades de origen minero-metalúrgicas, y, que al sobrepasar puede causar daños a la salud humana y al medio ambiente.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se tomaran en cuenta datos numéricos para la contrastación de la hipótesis formulada previamente.

La investigación fue de tipo aplicada; puesto que, se planteó una solución al problema enunciado apoyándose sobre una investigación básica. Nuestro planteamiento pretendió remover metales pesados como Cadmio y Cobre mediante la aplicación del método de Jar Test por coagulación química y biosorción de la cáscara de maracuyá *Passiflora edulis* en muestras de agua de la relavera Quiulacocha.

En cuanto al diseño de la investigación es experimental-puro; debido a que, se llevó a cabo la manipulación de variable independiente: sulfuro de sodio y cáscara de naranja; a fin de producir un efecto sobre la variable dependiente: remoción de Cadmio y Cobre, el cual permitió medir el efecto antes y después de la dosificación.

3.2 Ámbito temporal y espacial

3.2.1 *Ámbito temporal*

La investigación fue desarrollada de acuerdo con un orden cronológico establecido en tres etapas secuenciales: la primera etapa será la búsqueda de información, luego se continuó con la etapa experimental y finalmente con la redacción del informe final. El desarrollo del plan de tesis se inició con la búsqueda de información bibliográfica en abril del 2022, para lo cual se consideró tomar únicamente revisiones empíricas entre los años 2004 y 2021; y para la etapa experimental, esta se llevó a cabo entre julio y agosto del 2022; y la redacción del informe final se realizó en setiembre del 2022.

3.2.2 *Ámbito espacial*

El trabajo de investigación fue desarrollado en dos ámbitos espaciales, el primero es el lugar donde se tomó la muestra de drenaje ácido en referencia a la laguna Quiulacocha ubicada

en la provincia de Pasco cuyas coordenadas geográficas son: 359778 E y 8816635 N, correspondiente al lugar de descarga de relaves y acumulación de drenajes ácidos de la Unidad Minera Cerro S.A.C en Cerro de Pasco. En relación con la etapa experimental, todas las pruebas se realizaron en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV, con coordenadas geográficas: 277 097 E y 8 667 468 N.

3.3 Variables

3.3.1 Variable Independiente

Sulfuro de sodio y biosorbente de cáscara de maracuyá.

3.3.2 Variable Dependiente

Remoción de Cadmio y Cobre.

Tabla 4

Operacionalización de Variables de Investigación

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
V.I Sulfuro de Sodio y biosorbente de cascara de maracuyá.	Proviene de las especies de las Passifloras, es originaria de Perú, se encuentra presente en climas cálidos y con mayor altitud esta la podemos consumir. Estudios demuestran que es capaz de erradicar algunos metales pesados como el Cu, Pb y Zn de aguas residuales, demuestra tener una alta capacidad de remoción, llegando a niveles de 82%, 93% y 96% para el cromo, plomo y cobre (Lazarte, Nonato y Vallejos, 2019).	La maracuyá es conocida como fruta de la pasión perteneciente a la familia de la Passifloras, y se ha empleado para la remoción de metales: Cu, Pb, Zn obteniendo grandes porcentajes de remoción por lo que se asegura su eficiencia.	VARIABLES DE OPERACIÓN	Tiempo	Minutos
				Volumen	Litros
			REACTIVO	Revoluciones	rpm
				Concentración	g
				Dosis	ml
V.D Remoción de Cadmio y Cobre	La precipitación química, intercambio iónico, oxidación, tratamientos electroquímicos y filtración son procesos fisicoquímicos que se utilizan para erradicar la presencia de metales pesados de las descargas de una gran cantidad de desechos industriales. La precipitación química se utiliza como un prototipo de tratamiento para separar los metales pesados de efluentes. Otro método tradicional que se utiliza para este mismo fin es la adsorción la cual se basa en la separación de una sustancia que está en estado líquido encima de la superficie de un adsorbente sólido (Dávila, 2012).	Se realizó en la prueba de jarras, de manera que mediante la coagulación química y biosorción de la cáscara de maracuyá <i>Passiflora edulis</i> en muestras de agua de la relavera Quiulacocha permitieron remover metales pesados como Cadmio y Cobre.	PARAMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS	Temperatura	°C
				Conductividad Eléctrica	uS/cm
				Potencial de hidrógenos	Unidad de pH
				Cd y Cu	mg/l
			RENDIMIENTO	Eficiencia	%

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

La población que fue considerada para realizar este estudio corresponde al volumen total de drenajes ácidos descargados y almacenados en la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.

3.4.2 Muestra

La muestra por considerar en la presente investigación está en relación con la cantidad total de pruebas a realizar, para ello se está teniendo en cuenta trabajar con 5 dosis de sulfuro de sodio y biosorbente, y un volumen de muestra de 1 litro por cada dosis. Considerando tres corridas experimentales y tres replicas por corrida en el floculador programable, tendremos un volumen total de trabajo de 45 litros por tratamiento, haciendo un total de 90 litros.

3.5 Instrumentos

3.5.1 Técnicas

- Protocolo de monitoreo para aguas residuales.
- Protocolo de seguridad para laboratorios de ensayo UNFV.
- Manual sobre métodos estandarizados para análisis de agua natural y residual.

3.5.2 Instrumentos

- Formato de la cadena de custodia.
- Fichas de recolección de datos.

3.5.3 Equipos y materiales

- Jar Test (Floculador Programable).
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica.
- Equipo Multiparámetro.
- Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Cooler, preservantes, frascos plásticos y de vidrio.

3.6 Procedimientos

El trabajo de campo y experimental de la presente investigación consistió en realizar:

a) Monitoreo de campo para la recolección de muestras del drenaje ácido, en la laguna Quiulacocha, ubicada en Cerro de Pasco, b) Caracterización fisicoquímica del DAM, c) Desarrollo experimental en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la UNFV; y d) Determinación final de los parámetros fisicoquímicos una vez terminada la fase experimental.

3.6.1 Monitoreo de campo

Para el desarrollo del trabajo de campo, se planificó viajar a la ciudad de Cerro de Pasco en una camioneta particular para la toma de 90 litros de drenaje ácido de la laguna Quiulacocha, en seis envases plásticos de aproximadamente 15 litros de capacidad.

La toma de muestra fue puntual y se realizó tomando en cuenta todos los implementos de seguridad como son los EPP, el cual incluye uso de casco protector, chaleco con cintillos distintivos, botas reforzadas con punta de acero, lentes de seguridad, guantes de nitrilo y otros de ser necesario. El procedimiento fue desarrollado siguiendo el Guía Ambiental de Manejo de Agua en Operaciones Minero-Metalúrgicas y como referencia también se consideró Guía ambiental para el manejo de aguas en actividades minero metalúrgicas/ Bolivia de Código MA-023.

De acuerdo con lo indicado se tomó inicialmente un volumen de muestra en una jarra o recipiente limpio enjuagado con agua destilada, y se procedió a realizar las mediciones de campo mediante el uso de un multiparámetro marca HANNA, para parámetros de Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica, los cuales fueron previamente calibrados con los Buffers 4, 7 y 10 y solución de KCl de 0.1 N, y se anotó los hallazgos encontrados en una ficha de recolección de datos de campo.

Posteriormente con la misma jarra y un embudo se procedió a llenar los tres envases plásticos de 15 litros de capacidad cada uno y de ser necesario acidificar con ácido sulfúrico

hasta llegar a un pH de 2 a manera de preservar la muestra, luego se procedió a colocar las etiquetas respectivas a cada uno de los envases plásticos con su rotulo respectivo y con toda la información que se requiere como lugar y fecha de muestreo, coordenadas UTM, parámetros adeterminar, preservación, matriz y otro de relevancia que se consideró para su determinación y traslado al laboratorio LAGEMA de la FIGAE-UNFV.

Como ya se indicó, toda la información necesaria fue registrada en una ficha de recolección de datos y en tomando en cuenta la cadena de custodia, a fin de que se cumpla con los mínimos detalles y que aseguren unas muestras representativas.

3.6.2 Caracterización fisicoquímica

Como ya se indicó en el monitoreo de campo se realizaron las mediciones inmediatas de Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica en la muestra de drenaje ácido, para luego realizar la determinación de Cadmio y Cobre en el laboratorio mediante el equipo de Absorción Atómica. La determinación de Cd y Cu se desarrolló siguiendo el siguiente procedimiento:

- a) Se midió un volumen de muestra de 100 ml en una probeta de vidrio y se procedió a filtrar en un vaso de precipitado.
- b) Se procedió a añadir a la muestra 5 ml de HNO₃ concentrado y luego fue llevado a digestión a la plancha de calentamiento a una temperatura aproximada de 90-95°C.
- c) Se procedió a retirar la muestra digestada cuando se alcanzó una evaporación aproximadamente del 80%.
- d) Posteriormente se procedió a llevar la muestra residual a una fiola de 100 ml, enjuagando repetidas veces el vaso de precipitado hasta alcanzar la marca de aforo en la fiola.
- e) Para la elaboración de la curva de calibrado se preparó cuatro soluciones estándar de 100 ml con concentraciones de Cadmio y Cobre de 0.0, 0.5, 1.0 y 2.0 mg/l a partir de una solución patrón de 1000 mg/l de cada metal.

- f) Una vez obtenida la muestra y los estándares en un volumen de 100 ml fueron llevados al equipo de Absorción Atómica para su lectura correspondiente y anotar los resultados obtenidos.
- g) Los resultados de la caracterización inicial fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles correspondiente al DS 010-2010-MINAM, para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicos.

3.6.3 *Desarrollo Experimental*

El desarrollo experimental se llevó a cabo de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- a) Se preparó 3 soluciones de Sulfuro de Sodio con concentraciones de 2.5, 5.0 y 10 g/l, de las cuales cada concentración en particular fue para realizar una corrida con dos repeticiones adicionales.
- b) En cada una de las cinco jarras del floculador se procedió a adicionar un volumen de 1 litro de muestra de drenaje ácido.
- c) El floculador fue programado para trabajar a una velocidad de 250 RPM, a una temperatura ambiente y un tiempo de trabajo de 30 minutos.
- d) Se añadieron diferentes dosis de Sulfuro de Sodio correspondiente a 10, 20, 30, 40 y 50 ml para cada una de las concentraciones preparadas de 2.5, 5.0 y 10 g/l,
- e) Para la primera corrida se trabajó con la concentración de Sulfuro de Sodio de 2.5 mg/l y se adicionaran a cada una de las jarras dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml
- f) Una vez añadidas las dosis a cada una de las 5 jarras se procedió a agitarlas por un tiempo de 30 minutos y a 250 RPM.
- g) Terminado el tiempo de agitación se procedió a esperar la sedimentación de la muestra por un tiempo de 30 minutos finales.
- h) Terminado el tiempo de sedimentación se tomó todo el volumen del sobrenadante y procediendo a desechar el sedimento.

- i) Para obtener un resultado que resulte representativo se llevaron a cabo 2 repeticiones adicionales a la primera y se trabajó en función al promedio.
- j) Una vez desechado el sedimento de todas las jarras, se tomó una muestra de 100 ml del sobrenadante para proceder a determinar la concentración de Cd y Cu en el equipo de absorción atómica de acuerdo con el procedimiento indicado en la caracterización fisicoquímica.
- k) Para las concentraciones de 5 y 10 mg/l se trabajó de la misma forma de acuerdo con los ítems que van del e a la j.
- l) Para el tratamiento complementario con el biosorbente a partir de la cáscara de maracuyá se trabajó con el sobrenadante de la muestra tratada con sulfuro de sodio.
- m) La cáscara de maracuyá fue cortada en tamaños manejables y lavada con agua potable y posteriormente con agua destilada.
- n) Una vez lavada la cáscara de maracuyá fue colocada en bandejas sobre papel aluminio en la estufa de secado a una temperatura de 80 °C y dejado por 24 horas hasta secado completo.
- o) Terminado el proceso de secado de la cáscara de maracuyá se procedió a triturar en un mortero la muestra hasta llevar a grano fino y luego proceder a un tamizaje con la maya N° 80.
- p) Finalmente, el biosorbente de cáscara de maracuyá fue empaquetado en bolsas ziploc con cierre hermético hasta su utilización como floculante.
- q) De las muestras de drenaje ácido ya tratadas inicialmente con sulfuro de sodio se verificó primeramente cual ha sido la dosis óptima donde se haya obtenido la concentración más baja de Cadmio y Cobre.
- r) Una vez conocida la dosis óptima de sulfuro de sodio en la remoción de Cadmio y Cobre se procedió a correr 45 litros (incluye repeticiones) y quedarnos con el

- s) sobrenadante después de la sedimentación.
- t) El biosorbente fue preparado en concentraciones de 5, 15 y 25 % con agua destilada.
- u) Las muestras sobrenadantes pretratadas fueron colocadas en 5 jarras y se procedió a realizar la primera corrida con la concentración al 5% del biosorbente, con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml por jarra respectivamente.
- v) El tiempo de agitación fue de 30 minutos a 250 RPM y tiempo de sedimentación final de 30 minutos.
- w) Terminado el tiempo de sedimentación se procedió a tomar 100 ml de las muestras sobrenadantes de cada jarra trabajada con su dosis particular.
- x) De igual forma fueron trabajadas las concentraciones de 15 y 25% siguiendo los pasos u, v y w.
- y) Finalmente, todas las muestras ya tratadas fueron determinadas sus concentraciones de Cadmio y Cobre de acuerdo con el ítem 3.6.2 (caracterización fisicoquímica).

3.6.4 Determinación final de parámetros fisicoquímicos

Para determinar los niveles de parámetros de las muestras tratadas al final como la Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica fueron medidos mediante el multiparámetro marca HANNA previamente calibrados con los Buffers de 4, 7 y 10, y una solución de KCl a 0.1 N. Para el caso de la determinación final de Cadmio y Cobre se realizará mediante el equipo de Absorción atómica, siguiendo el procedimiento del ítem 3.6.2 (caracterización fisicoquímica).

3.7 Análisis de datos

Los resultados encontrados por medio los ensayos experimentales fueron tabulados y ordenados en un formato Excel 2010, para posteriormente realizar la prueba estadística en base a un software como el SPSS, el cual permitió evaluar la variable independiente (sulfuro y biosorbente) y dependiente (remoción de Cadmio y Cobre) tomadas de manera individual, se emplearon para reflejar la estadística descriptiva mediante tablas y gráficas de datos y para

mostrar la distribución de los datos obtenidos mediante graficas lineales, con el objetivo de conocer cuál fue la dosis óptima para el pretratamiento con sulfuro de sodio y para el tratamiento complementario con el biosorbente de cáscara de maracuyá, y conocer finalmente las eficiencias en la precipitación de Cadmio y Cobre en el tratamiento del Drenaje Acido, y contrastar nuestra hipótesis de investigación.

IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del Drenaje Acido de Mina, y las eficiencias obtenidas a partir del tratamiento con sulfuro de sodio y el biosorbentede cascara de Maracuyá.

4.1 Caracterización del Drenaje Acido de Mina

Los resultados obtenidos de la caracterización de las muestras del Drenaje Acido de Minas se muestran en la tabla 5, las cuales fueron trasladadas al laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV para su análisis respectivo. Los resultados fueron comparados de acuerdo con la norma D.S N°010-2010-MINAM, donde se establece los Límites Máximos Permisibles.

Tabla 5

Comparación de los parámetros físico – químicos de la muestra inicial con los LMP

Parámetros	Niveles de DAM	LMP	Unidad
pH	3.38	6 – 9	Unidad de pH
Temperatura	10.3	--	° C
Conductividad	5657	--	uS/cm
Aceites y grasa	8	20	mg/l
SST	117	50	mg/l
Cadmio	2.5	0.05	mg/l
Cobre	75.5	0.5	mg/l

De acuerdo con los resultados obtenidos, el nivel de pH se encuentra por debajo de lo establecido en los LMP con un valor de 3.38, mientras que los niveles de Solidos SuspendidosTotales, Cadmio y Cobre exceden las concentraciones admitidas con 117, 2.5 y 75.5 mg/l respectivamente. La concentración de aceites y grasa se encuentran dentro de los rangos permitidos.

4.2. Eficiencia del Sulfuro de sodio

Para la determinación de la eficiencia con Sulfuro de Sodio se trabajó con concentraciones de 2.5, 5 y 10 g/l, a fin de evaluar el nivel de remoción de las concentraciones iniciales de Cobre y Cadmio presentes en el DAM.

4.2.1 Tratamiento 1 con Sulfuro de Sodio

El tratamiento 1 se trabajó con un volumen de muestra de 1 litro, durante un tiempo de 30 minutos y con una velocidad de 250 RPM, una concentración de 2.5 g/l de Sulfuro de Sodio y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml para cada jarra en particular. La concentración inicial de Cobre y Cadmio fueron de 75.5 y 2.5 mg/l respectivamente.

Tabla 6

Resultados del tratamiento para remoción de Cu, con 2.5 g/l de Na₂S

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.38	3.46	3.53	3.69	3.82
Concentración inicial de Cu	75.5 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cu (mg/l)				
1	45.12	44.63	43.14	40.83	39.42
2	44.31	46.22	44.05	41.74	40.53
3	46.23	45.61	45.16	42.65	41.34
Promedio	45.22	45.62	44.15	41.64	40.33
% Eficiencia	40.11	39.58	41.52	44.85	46.58

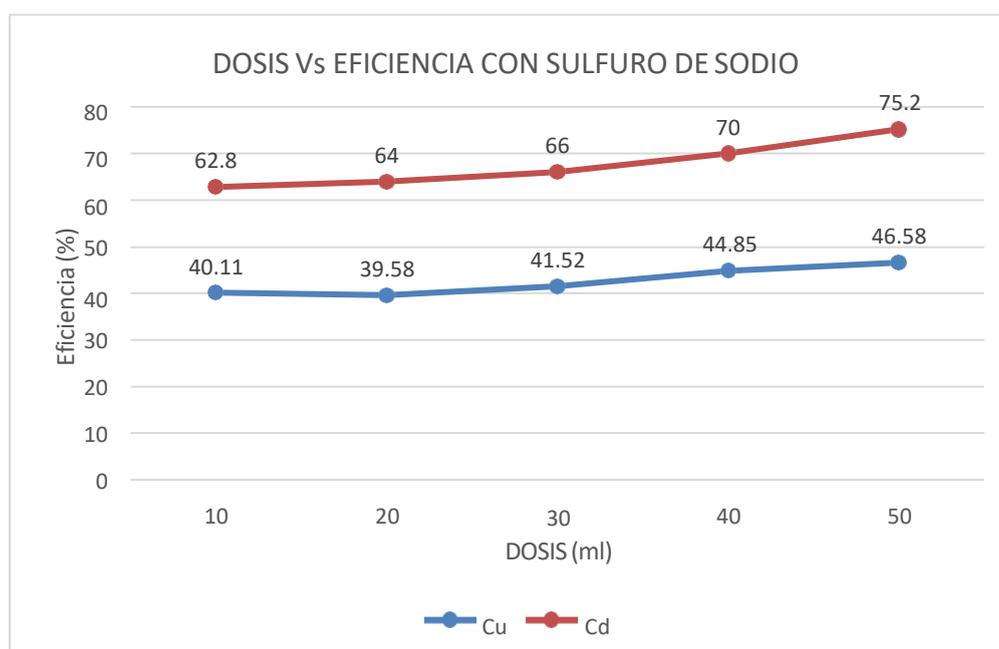
Tabla 7

Resultados del tratamiento para remoción de Cd, con 2.5 g/l de Na₂S

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.39	3.41	3.57	3.62	3.65
Concentración inicial de Cd	2.5 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cd (mg/l)				
1	0.93	0.89	0.84	0.76	0.61
2	0.92	0.91	0.86	0.74	0.62
3	0.94	0.90	0.85	0.75	0.63
Promedio	0.93	0.90	0.85	0.75	0.62
% Eficiencia	62.8	64	66	70	75.2

Figura 3

Eficiencia alcanzada con 2.5 g/l de Na₂S para la remoción de Cu y Cd



En la figura 3, se aprecia que la máxima eficiencia alcanzada para la remoción de Cobre con 2.5 g/l de Sulfuro de Sodio fue de 46.58%, utilizando una dosis de 50 ml, mientras que para el caso del Cadmio la máxima eficiencia alcanzada con la misma concentración y dosis de sulfuro de sodio fue de 75.2%.

4.2.2 Tratamiento 2 con Sulfuro de Sodio

El tratamiento 2 se trabajó con un volumen de muestra de 1 litro, con un tiempo de 30 minutos y con una velocidad de 250 RPM, una concentración de 5 g/l de Sulfuro de Sodio y con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml para cada jarra en particular. Las concentraciones iniciales de Cobre y Cadmio fueron de 75.5 mg/l y 2.5 mg/l respectivamente.

Tabla 8

Resultados del tratamiento para remoción de Cu, con 5 g/l de Na₂S

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.33	3.41	3.55	3.71	3.75
Concentración inicial de Cu	75.5 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cu (mg/l)				
1	25.71	24.73	23.16	22.53	21.51
2	23.92	23.64	22.27	21.74	20.62
3	24.83	25.55	24.38	23.65	19.43
Promedio	25.82	24.64	23.27	22.64	20.52
% Eficiencia	65.8	67.36	69.18	70.01	72.82

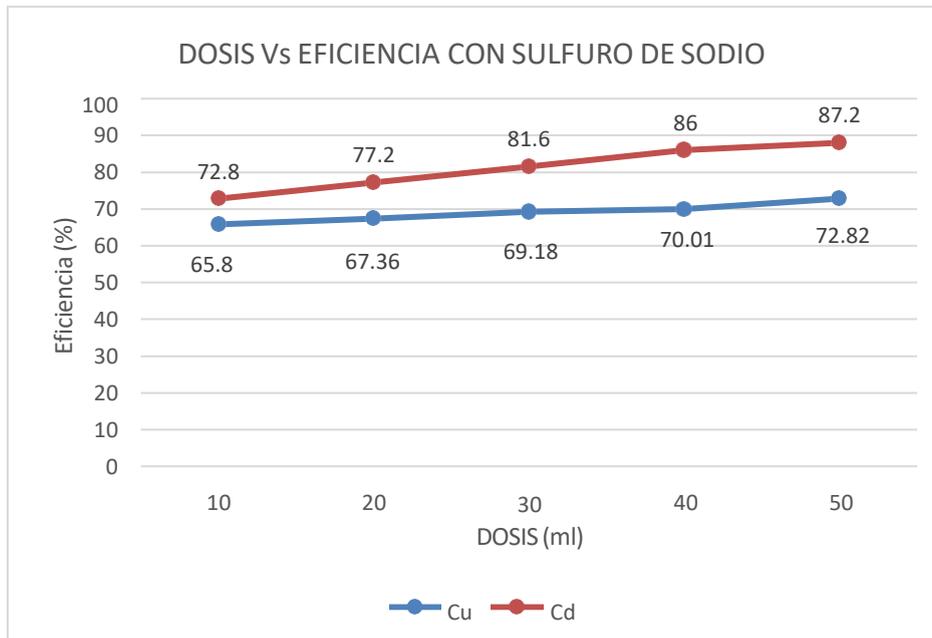
Tabla 9

Resultados del tratamiento para remoción de Cd, con 5 g/l de Na₂S

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.35	3.51	3.61	3.72	3.79
Concentración inicial de Cd	2.5 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cd (mg/l)				
1	0.67	0.56	0.47	0.36	0.33
2	0.68	0.58	0.46	0.34	0.32
3	0.69	0.57	0.48	0.35	0.31
Promedio	0.68	0.57	0.46	0.35	0.32
% Eficiencia	72.8	77.2	81.6	86.0	87.20

Figura 4

Eficiencia alcanzada con 5 g/l de Na₂S para la remoción de Cu y Cd



En la figura 4, se aprecia que la máxima eficiencia alcanzada para la remoción de Cobre con 5 g/l de Sulfuro de Sodio fue de 72.82%, utilizando una dosis de 50 ml, mientras que para el caso del Cadmio la máxima eficiencia alcanzada con la misma concentración y dosis de sulfuro de sodio fue de 87.2%.

4.2.3 Tratamiento 3 con Sulfuro de Sodio

El tratamiento 3 se trabajó con un volumen de muestra de 1 litro, con un tiempo de 30 minutos y con una velocidad de 250 RPM, una concentración de 10 g/l de Sulfuro de Sodio y con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml para cada jarra en particular. Las concentraciones iniciales de Cobre y Cadmio fueron de 75.5 mg/l y 2.5 mg/l respectivamente.

Tabla 10

Resultados del tratamiento para remoción de Cu, con 10 g/l de Na₂S

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.45	3.55	3.66	3.75	3.85
Concentración inicial de Cu	75.5 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cu (mg/l)				
1	16.95	11.71	9.84	9.56	9.74
2	15.86	12.52	9.75	9.77	9.65
3	17.77	13.63	9.96	9.68	9.56
Promedio	16.86	12.62	9.75	9.67	9.65
% Eficiencia	77.67	83.28	87.09	87.19	87.22

La concentración de Sulfuro de sodio de 10 g/l con dosis de 30, 40 y 50 ml, mostraron una reducción máxima de Cobre de 9.75, 9.67 y 9.65 mg/l respectivamente, sin embargo, no se alcanzó a cumplir con el LMP de 0.5 mg/l. Con relación a las eficiencias finales alcanzados en la remoción de Cobre con el Sulfuro de sodio, podemos indicar que los tres mejores valores registrados fueron de 87.09, 87.19 y 87.22 % respectivamente.

Tabla 11

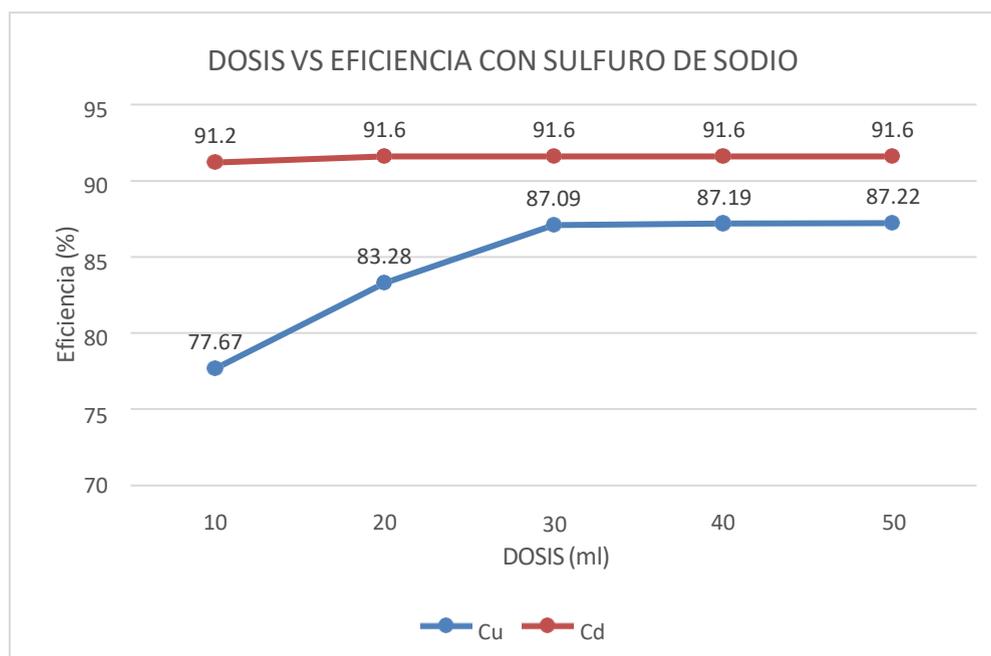
Resultados del tratamiento para remoción de Cd, con 10 g/l de Na₂S

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.51	3.57	3.62	3.73	3.87
Concentración inicial de Cd	2.5 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cd (mg/l)				
1	0.22	0.22	0.20	0.21	0.22
2	0.21	0.21	0.22	0.20	0.21
3	0.23	0.20	0.21	0.22	0.20
Promedio	0.22	0.21	0.21	0.21	0.21
% Eficiencia	92.2	91.6	91.6	91.6	91.6

La concentración de Sulfuro de sodio de 10 g/l con dosis de 20, 30, 40 y 50 ml, mostraron una reducción máxima de Cadmio de 0.21 mg/l para las cuatro últimas dosis, sin embargo, no se alcanzó a cumplir con el LMP de 0.05 mg/l. Con relación a las eficiencias finales alcanzados en la remoción de Cadmio con Sulfuro de sodio, podemos indicar que los cuatro mejores valores registrados fueron todos de 91.6 %.

Figura 5

Eficiencia alcanzada con 10 g/l de Na₂S para la remoción de Cu y Cd



En la figura 5, se aprecia que la máxima eficiencia alcanzada para la remoción de Cobre con 10 g/l de Sulfuro de Sodio fue de 87.22%, utilizando una dosis de 50 ml, mientras que para el caso del Cadmio la máxima eficiencia alcanzada con la misma concentración y dosis de sulfuro de sodio fue 91.6%.

4.3. Eficiencia con Biosorbente de Maracuyá

Para la determinación de la eficiencia con biosorbente de Maracuyá se trabajó con la concentración y dosis más eficiente de Sulfuro de Sodio (10 g/l y 50 ml), quienes alcanzaron 87.22% para Cu y 91.6% para Cd, y a partir de ello, complementar la remoción de las concentraciones residuales de Cobre y Cadmio. Para lo indicado, se consideraron tres

tratamientos con 5, 15 y 25% de biosorbente de Maracuyá.

4.3.1 Tratamiento 1 con Biosorbente

El tratamiento 1 se trabajó con un volumen de muestra de 1 litro, con un tiempo de 30 minutos y con una velocidad de 250 RPM, una concentración al 5% de biosorbente de maracuyá y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml para cada jarra en particular. La concentración inicial de Cobre y Cadmio fueron de 9.6 y 0.21 mg/l respectivamente.

Tabla 12

Resultados del tratamiento para remoción de Cu, al 5 % de Biosorbente

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.56	3.75	3.85	3.92	3.99
Concentración inicial de Cu	9.65 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cu (mg/l)				
1	6.75	6.01	5.65	5.23	5.06
2	6.67	6.22	5.56	5.34	5.17
3	6.56	6.13	5.77	5.55	5.28
Promedio	6.66	6.12	5.56	5.34	5.17
% Eficiencia	30.63	36.25	42.08	44.38	46.15

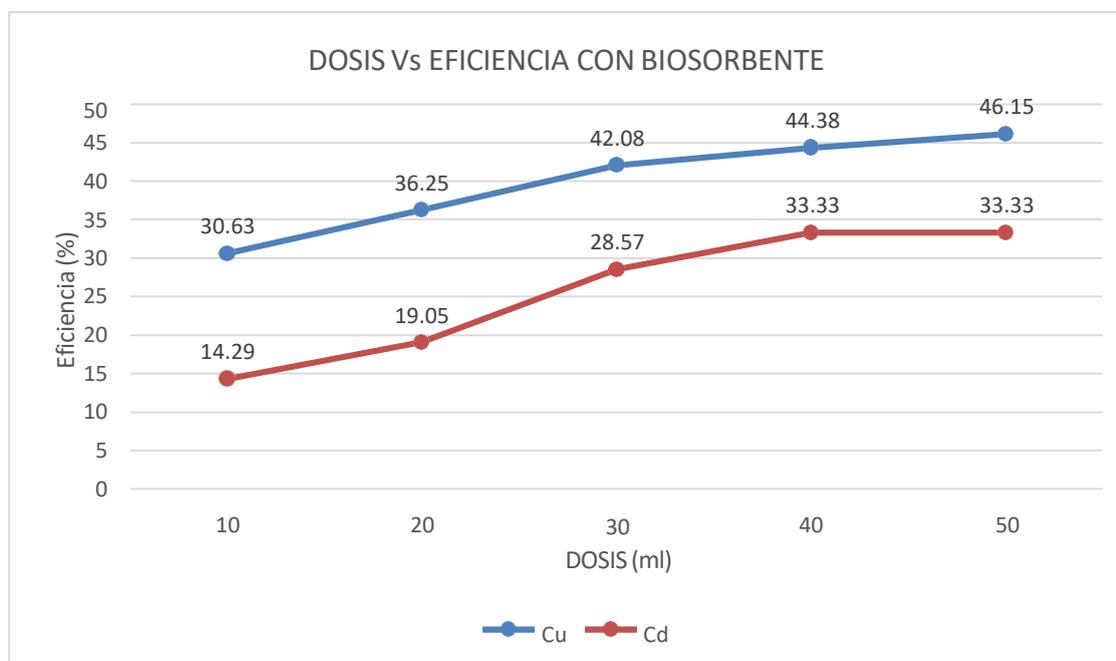
Tabla 13

Resultados del tratamiento para remoción de Cd, al 5 % de Biosorbente

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.65	3.75	3.88	3.98	4.12
Concentración inicial de Cd	0.21 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cd (mg/l)				
1	0.19	0.18	0.14	0.15	0.13
2	0.18	0.17	0.15	0.14	0.14
3	0.17	0.16	0.16	0.13	0.15
Promedio	0.18	0.17	0.15	0.14	0.14
% Eficiencia	14.29	19.05	28.57	33.33	33.33

Figura 6

Eficiencia alcanzada con 5% de biosorbente para la remoción de Cu y Cd}



En la figura 6, se aprecia que la máxima eficiencia alcanzada para la remoción de Cobre con 5% de biosorbente fue de 46.15%, utilizando una dosis de 50 ml, mientras que para el caso del Cadmio la máxima eficiencia alcanzada con la misma concentración y dosis de sulfuro de sodio fue 33.33%.

4.3.2 Tratamiento 2 con Biosorbente

El tratamiento 2 se trabajó con un volumen de muestra de 1 litro, con un tiempo de 30 minutos y con una velocidad de 250 RPM, una concentración de al 15% de biosorbente de maracuyá y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml para cada jarra en particular. La concentración inicial de Cobre y Cadmio fueron de 9.6 y 0.21 mg/l respectivamente.

Tabla 14

Resultados del tratamiento para remoción de Cu, al 15 % de Biosorbente

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.75	3.95	4.08	4.28	4.32
Concentración inicial de Cu	9.65 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cu (mg/l)				
1	3.52	3.25	2.27	2.16	1.64
2	3.13	3.16	2.38	2.07	1.55
3	3.34	3.07	2.49	1.98	1.46
Promedio	3.33	3.16	2.38	2.07	1.55
% Eficiencia	65.31	67.08	75.21	78.44	83.85

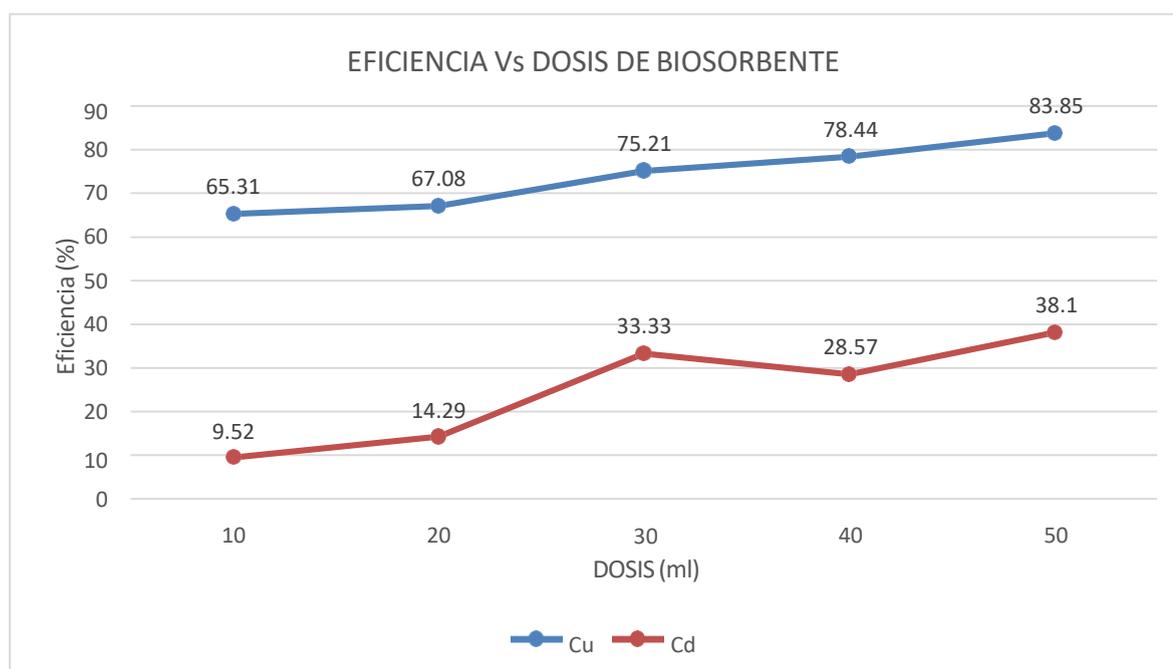
Tabla 15

Resultados del tratamiento para remoción de Cd, al 15 % de Biosorbente

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.95	4.05	4.28	4.49	4.62
Concentración inicial de Cd	0.21 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cd (mg/l)				
1	0.20	0.19	0.16	0.16	0.14
2	0.19	0.17	0.12	0.15	0.13
3	0.18	0.18	0.14	0.14	0.12
Promedio	0.19	0.18	0.14	0.15	0.13
% Eficiencia	9.52	14.29	33.33	28.57	38.1

Figura 7

Eficiencia alcanzada con 15% de biosorbente para la remoción de Cu y Cd



En la figura 7, se aprecia que la máxima eficiencia alcanzada para la remoción de Cobre con 15% de biosorbente fue de 83.85%, utilizando una dosis de 50 ml, mientras que para el caso del Cadmio la máxima eficiencia alcanzada con la misma concentración y dosis de biosorbente fue 38.13%.

4.3.3 Tratamiento 3 con Biosorbente

El tratamiento 3 se trabajó con un volumen de muestra de 1 litro, con un tiempo de 30 minutos y con una velocidad de 250 RPM, una concentración al 25% de biosorbente de maracuyá y dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml para cada jarra en particular. La concentración inicial de Cobre y Cadmio fueron de 9.6 y 0.21 mg/l respectivamente.

Tabla 16

Resultados del tratamiento para remoción de Cu, al 25 % de Biosorbente

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.95	4.15	4.38	4.59	4.52
Concentración inicial de Cu	9.65 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cu (mg/l)				
1	1.35	0.88	0.49	0.37	0.13
2	1.33	0.86	0.50	0.35	0.11
3	1.32	0.85	0.51	0.36	0.12
Promedio	1.33	0.86	0.50	0.36	0.12
% Eficiencia	86.15	91.04	94.79	96.25	98.75

La concentración de biosorbente al 25% con dosis de 30, 40 y 50 ml, mostraron una reducción de Cobre hasta 0.50, 0.36 y 0.12 mg/l respectivamente, alcanzando el LMP normado en 0.5 mg/l. Con relación a las eficiencias finales alcanzados en la remoción de Cobre con el biosorbente, podemos indicar que los tres mejores valores registrados fueron de 94.79, 96.25 y 98.75 % respectivamente.

Tabla 17

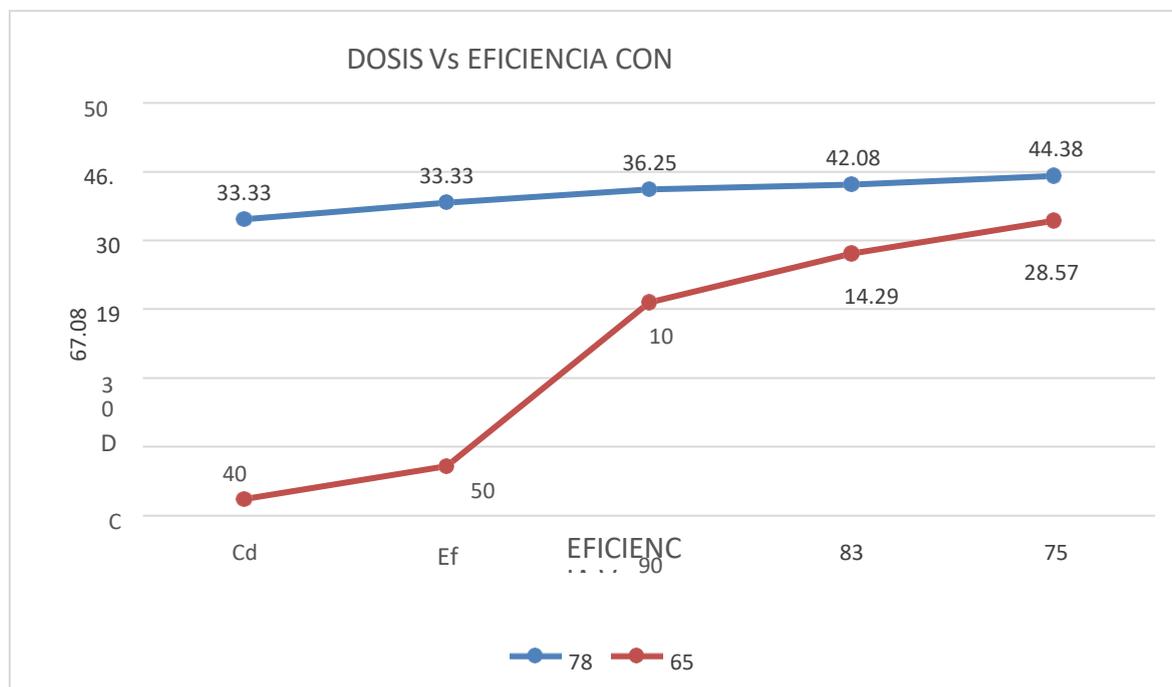
Resultados del tratamiento para remoción de Cd, al 25 % de Biosorbente

Muestra	Dosificaciones				
Dosis (ml)	10	20	30	40	50
pH	3.95	4.24	4.48	4.63	4.72
Concentración inicial de Cd	0.21 mg/l				
Repeticiones	Concentración de Cd (mg/l)				
1	0.21	0.17	0.09	0.06	0.02
2	0.19	0.18	0.08	0.05	0.04
3	0.20	0.19	0.08	0.04	0.03
Promedio	0.20	0.18	0.08	0.05	0.03
% Eficiencia	4.76	14.29	61.9	76.19	85.71

La concentración de biosorbente al 25% con dosis de 40 y 50 ml, mostraron una reducción de Cadmio hasta 0.05 y 0.03 mg/l respectivamente, alcanzando el LMP normado en 0.05 mg/l. Con relación a las eficiencias finales alcanzados en la remoción de Cadmio con el biosorbente, podemos indicar que los mejores valores registrados fueron de 76.19 y 85.71 % respectivamente.

Figura 8

Eficiencia alcanzada con 25% de biosorbente para la remoción de Cu y Cd



En la figura 8, se aprecia que la máxima eficiencia alcanzada para la remoción de Cobre con 25% de biosorbente fue de 98.75%, utilizando una dosis de 50 ml, mientras que para el caso del Cadmio la máxima eficiencia alcanzada con la misma concentración y dosis de biosorbente fue 85.71%.

4.4 Análisis Estadístico

Para poder analizar los parámetros involucrados se tomó en cuenta los parámetros fisicoquímicos analizados para lo cual se utilizó el método DCA, el cual se basa en una prueba ANOVA de un solo factor la misma que se aplicó a los resultados obtenidos de remoción de Cobre y Cadmio obtenidos del drenaje ácido de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco.

Para ello se agrupó de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística.

- Análisis de concentración de cobre

Tabla 18

Data para Aplicación Estadística en la remoción de Cobre aplicando dos tratamientos uno con sulfuro de Sodio y otro con biosorbente potenciado a base de cascara de maracuyá

Tratamientos	Concentraciones	Dosis	Repeticiones	de Cu (mg/l)	Eficiencia de tratamiento (%)
T1	T1C1	D1	R1	45.12	40.24
T1	T1C1	D1	R2	44.31	41.31
T1	T1C1	D1	R3	46.23	38.77
T1	T1C1	D2	R1	44.63	40.89
T1	T1C1	D2	R2	46.22	38.78
T1	T1C1	D2	R3	45.61	39.59
T1	T1C1	D3	R1	43.14	42.86
T1	T1C1	D3	R2	44.05	41.66
T1	T1C1	D3	R3	45.16	40.19
T1	T1C1	D4	R1	40.83	45.92
T1	T1C1	D4	R2	41.74	44.72
T1	T1C1	D4	R3	42.65	43.51
T1	T1C1	D5	R1	39.42	47.79
T1	T1C1	D5	R2	40.53	46.32
T1	T1C1	D5	R3	41.34	45.25
T1	T1C2	D1	R1	25.71	65.95
T1	T1C2	D1	R2	23.92	68.32
T1	T1C2	D1	R3	24.83	67.11
T1	T1C2	D2	R1	24.73	67.25
T1	T1C2	D2	R2	23.64	68.69
T1	T1C2	D2	R3	25.55	66.16
T1	T1C2	D3	R1	23.16	69.32
T1	T1C2	D3	R2	22.27	70.50
T1	T1C2	D3	R3	24.38	67.71
T1	T1C2	D4	R1	22.53	70.16
T1	T1C2	D4	R2	21.74	71.21
T1	T1C2	D4	R3	23.65	68.68
T1	T1C2	D5	R1	21.51	71.51
T1	T1C2	D5	R2	20.62	72.69
T1	T1C2	D5	R3	19.43	74.26
T1	T1C3	D1	R1	16.95	77.55
T1	T1C3	D1	R2	15.86	78.99
T1	T1C3	D1	R3	17.77	76.46

T1	T1C3	D2	R1	11.71	84.49
T1	T1C3	D2	R2	12.52	83.42
T1	T1C3	D2	R3	13.63	81.95
T1	T1C3	D3	R1	9.84	86.97
T1	T1C3	D3	R2	9.75	87.09
T1	T1C3	D3	R3	9.96	86.81
T1	T1C3	D4	R1	9.56	87.34
T1	T1C3	D4	R2	9.77	87.06
T1	T1C3	D4	R3	9.68	87.18
T1	T1C3	D5	R1	9.74	87.10
T1	T1C3	D5	R2	9.65	87.22
T1	T1C3	D5	R3	9.56	87.34
T2	T2C1	D1	R1	6.75	29.69
T2	T2C1	D1	R2	6.67	30.52
T2	T2C1	D1	R3	6.56	31.67
T2	T2C1	D2	R1	6.01	37.40
T2	T2C1	D2	R2	6.22	35.21
T2	T2C1	D2	R3	6.13	36.15
T2	T2C1	D3	R1	5.65	41.15
T2	T2C1	D3	R2	5.56	42.08
T2	T2C1	D3	R3	5.77	39.90
T2	T2C1	D4	R1	5.23	45.52
T2	T2C1	D4	R2	5.34	44.38
T2	T2C1	D4	R3	5.55	42.19
T2	T2C1	D5	R1	5.06	47.29
T2	T2C1	D5	R2	5.17	46.15
T2	T2C1	D5	R3	5.28	45.00
T2	T2C2	D1	R1	3.52	63.33
T2	T2C2	D1	R2	3.13	67.40
T2	T2C2	D1	R3	3.34	65.21
T2	T2C2	D2	R1	3.25	66.15
T2	T2C2	D2	R2	3.16	67.08
T2	T2C2	D2	R3	3.07	68.02
T2	T2C2	D3	R1	2.27	76.35
T2	T2C2	D3	R2	2.38	75.21
T2	T2C2	D3	R3	2.49	74.06
T2	T2C2	D4	R1	2.16	77.50
T2	T2C2	D4	R2	2.07	78.44
T2	T2C2	D4	R3	1.98	79.38
T2	T2C2	D5	R1	1.64	82.92
T2	T2C2	D5	R2	1.55	83.85
T2	T2C2	D5	R3	1.46	84.79
T2	T2C3	D1	R1	1.35	85.94
T2	T2C3	D1	R2	1.33	86.15
T2	T2C3	D1	R3	1.32	86.25
T2	T2C3	D2	R1	0.88	90.83
T2	T2C3	D2	R2	0.86	91.04
T2	T2C3	D2	R3	0.85	91.15
T2	T2C3	D3	R1	0.49	94.90

T2	T2C3	D3	R2	0.5	94.79
T2	T2C3	D3	R3	0.51	94.69
T2	T2C3	D4	R1	0.37	96.15
T2	T2C3	D4	R2	0.35	96.35
T2	T2C3	D4	R3	0.36	96.25
T2	T2C3	D5	R1	0.13	98.65
T2	T2C3	D5	R2	0.11	98.85
T2	T2C3	D5	R3	0.12	98.75

Nota. Tabla de autoría propia.

Para describir el DCA en la tabla 18 que corresponde al suministro del tratamiento y su afectación en la degradación del cobre se tiene:

Prueba de Normalidad para los errores (AD)

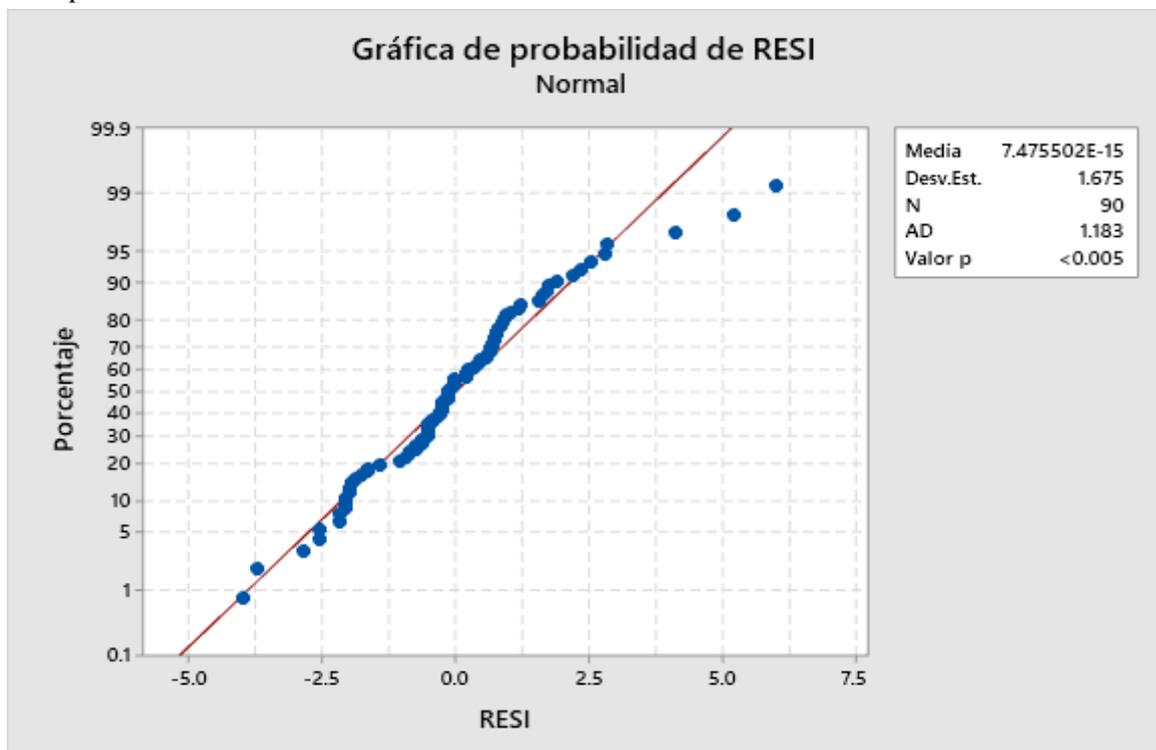
Se establecen las siguientes premisas:

H_0 : Los residuos se distribuyen normalmente

H_a : Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 9

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de Cobreplicando los tratamientos



Nota. Elaborado en MINITAB versión 2019.

De lo calculado se logra obtener que el valor $p < 0.05$ ($p < 0.005$) como también el

indicador ($AD= 1.183$) por lo cual se rechaza la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores no presentan una distribución Normal, esto se debe que la experimentación presenta una dispersión exponencial de datos.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se establece lo siguiente:

H_0 : Las varianzas son iguales.

H_a : Al menos una varianza es diferente.

Calculando el índice de Levene = 4.43 y p valor = 0.001 < 0.05, se rechaza la hipótesis nula por consiguiente al menos una varianza es diferente.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir cobre por dos tratamientos en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco

H_0 : Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí.

H_a : Los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

Teniendo en cuenta el coeficiente $F= 1342.24$ y un p-valor = 0.000 y sabiendo que p-valor < 0.05 se decide aceptarla hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey) Prueba Tukey:

$$H_0: \mu_i = \mu_j \quad H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

Por lo que se tiene lo siguiente:

Tabla 19

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para remoción de Cobre

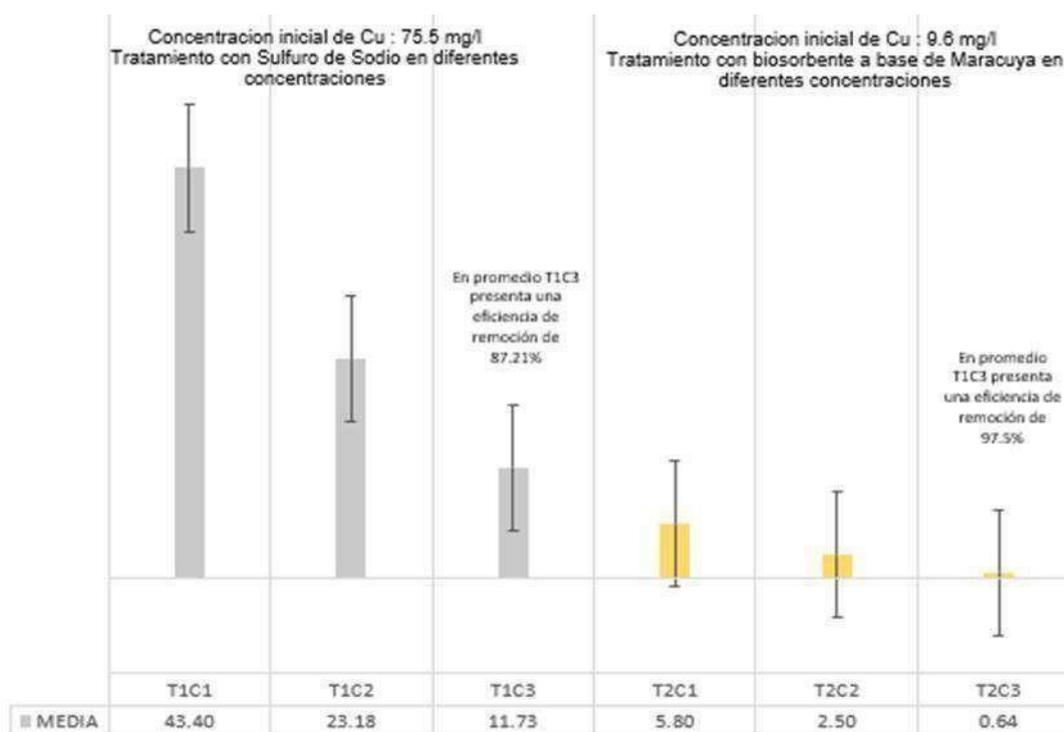
TRATA+CONCENT	N	Media	Agrupación
T1C1	15	43.399	A
T1C2	15	23.178	B
T1C3	15	11.730	C
T2C1	15	5.797	D
T2C2	15	2.498	E
T2C3	15	0.635	F

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que en primera instancia con en el primer tratamiento con concentración C3 (T1C3) presenta mayor disminución en promedio de la concentración de cobre aplicando sulfuro de Sodio como tratamiento a su vez el tratamiento con biosorbente potenciado a base de cascara de maracuyá como segundo tratamiento en concentración C3 (T2C3) presenta mayor disminución en promedio de la concentración de cobre.

Figura 10

Grafica de la prueba Tukey aplicando los tratamientos a Drenaje Acido obtenido de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco para la remoción de cobre



Nota. Figura de autoría propia.

Se observa que las concentraciones en la aplicación son diferentes lo que no permite agruparlos en una distribución normal a los datos más establece tendencias en las cuales se observa que tanto el tratamiento 1 y 2 en concentraciones considerables (C3) presenta eficiencias de remoción considerables según los objetivos trazados.

➤ Análisis de concentración de Cadmio

Tabla 20

Data para Aplicación Estadística en la remoción de Cadmio aplicando dos tratamientos uno con sulfuro de Sodio y otro con biosorbente potenciado a base de cascara de maracuyá

Tratamientos	Concentraciones	Dosis	Repeticiones	Concentraciones de Cd (mg/l)	Eficiencia de tratamiento (%)
T1	T1C1	D1	R1	0.93	62.80
T1	T1C1	D1	R2	0.92	63.20
T1	T1C1	D1	R3	0.94	62.40
T1	T1C1	D2	R1	0.89	64.40
T1	T1C1	D2	R2	0.91	63.60
T1	T1C1	D2	R3	0.9	64.00
T1	T1C1	D3	R1	0.84	66.40
T1	T1C1	D3	R2	0.86	65.60
T1	T1C1	D3	R3	0.85	66.00
T1	T1C1	D4	R1	0.76	69.60
T1	T1C1	D4	R2	0.74	70.40
T1	T1C1	D4	R3	0.75	70.00
T1	T1C1	D5	R1	0.61	75.60
T1	T1C1	D5	R2	0.62	75.20
T1	T1C1	D5	R3	0.63	74.80
T1	T1C2	D1	R1	0.67	73.20
T1	T1C2	D1	R2	0.68	72.80
T1	T1C2	D1	R3	0.69	72.40
T1	T1C2	D2	R1	0.56	77.60
T1	T1C2	D2	R2	0.58	76.80
T1	T1C2	D2	R3	0.57	77.20
T1	T1C2	D3	R1	0.47	81.20
T1	T1C2	D3	R2	0.46	81.60
T1	T1C2	D3	R3	0.48	80.80
T1	T1C2	D4	R1	0.36	85.60
T1	T1C2	D4	R2	0.34	86.40
T1	T1C2	D4	R3	0.35	86.00
T1	T1C2	D5	R1	0.31	87.60
T1	T1C2	D5	R2	0.3	88.00
T1	T1C2	D5	R3	0.29	88.40

T1	T1C3	D1	R1	0.22	91.20
T1	T1C3	D1	R2	0.21	91.60
T1	T1C3	D1	R3	0.23	90.80
T1	T1C3	D2	R1	0.22	91.20
T1	T1C3	D2	R2	0.21	91.60
T1	T1C3	D2	R3	0.2	92.00
T1	T1C3	D3	R1	0.2	92.00
T1	T1C3	D3	R2	0.22	91.20
T1	T1C3	D3	R3	0.21	91.60
T1	T1C3	D4	R1	0.21	91.60
T1	T1C3	D4	R2	0.2	92.00
T1	T1C3	D4	R3	0.22	91.20
T1	T1C3	D5	R1	0.22	91.20
T1	T1C3	D5	R2	0.21	91.60
T1	T1C3	D5	R3	0.2	92.00
T2	T2C1	D1	R1	0.19	9.52
T2	T2C1	D1	R2	0.18	14.29
T2	T2C1	D1	R3	0.17	19.05
T2	T2C1	D2	R1	0.18	14.29
T2	T2C1	D2	R2	0.17	19.05
T2	T2C1	D2	R3	0.16	23.81
T2	T2C1	D3	R1	0.14	33.33
T2	T2C1	D3	R2	0.15	28.57
T2	T2C1	D3	R3	0.16	23.81
T2	T2C1	D4	R1	0.15	28.57
T2	T2C1	D4	R2	0.14	33.33
T2	T2C1	D4	R3	0.13	38.10
T2	T2C1	D5	R1	0.13	38.10
T2	T2C1	D5	R2	0.14	33.33
T2	T2C1	D5	R3	0.15	28.57
T2	T2C2	D1	R1	0.2	4.76
T2	T2C2	D1	R2	0.19	9.52
T2	T2C2	D1	R3	0.18	14.29
T2	T2C2	D2	R1	0.19	9.52
T2	T2C2	D2	R2	0.17	19.05
T2	T2C2	D2	R3	0.18	14.29
T2	T2C2	D3	R1	0.16	23.81
T2	T2C2	D3	R2	0.12	42.86
T2	T2C2	D3	R3	0.14	33.33
T2	T2C2	D4	R1	0.16	23.81
T2	T2C2	D4	R2	0.15	28.57
T2	T2C2	D4	R3	0.14	33.33
T2	T2C2	D5	R1	0.14	33.33
T2	T2C2	D5	R2	0.13	38.10

T2	T2C2	D5	R3	0.12	42.86
T2	T2C3	D1	R1	0.21	0.00
T2	T2C3	D1	R2	0.19	9.52
T2	T2C3	D1	R3	0.2	4.76
T2	T2C3	D2	R1	0.17	19.05
T2	T2C3	D2	R2	0.18	14.29
T2	T2C3	D2	R3	0.19	9.52
T2	T2C3	D3	R1	0.09	57.14
T2	T2C3	D3	R2	0.08	61.90
T2	T2C3	D3	R3	0.08	61.90
T2	T2C3	D4	R1	0.06	71.43
T2	T2C3	D4	R2	0.05	76.19
T2	T2C3	D4	R3	0.04	80.95
T2	T2C3	D5	R1	0.02	90.48
T2	T2C3	D5	R2	0.04	80.95
T2	T2C3	D5	R3	0.03	85.71

Nota. Tabla de autoría propia.

Para describir el DCA en la tabla 20 que corresponde al suministro del tratamiento y su afectación en la degradación del cadmio se tiene:

Prueba de Normalidad para los errores (AD)

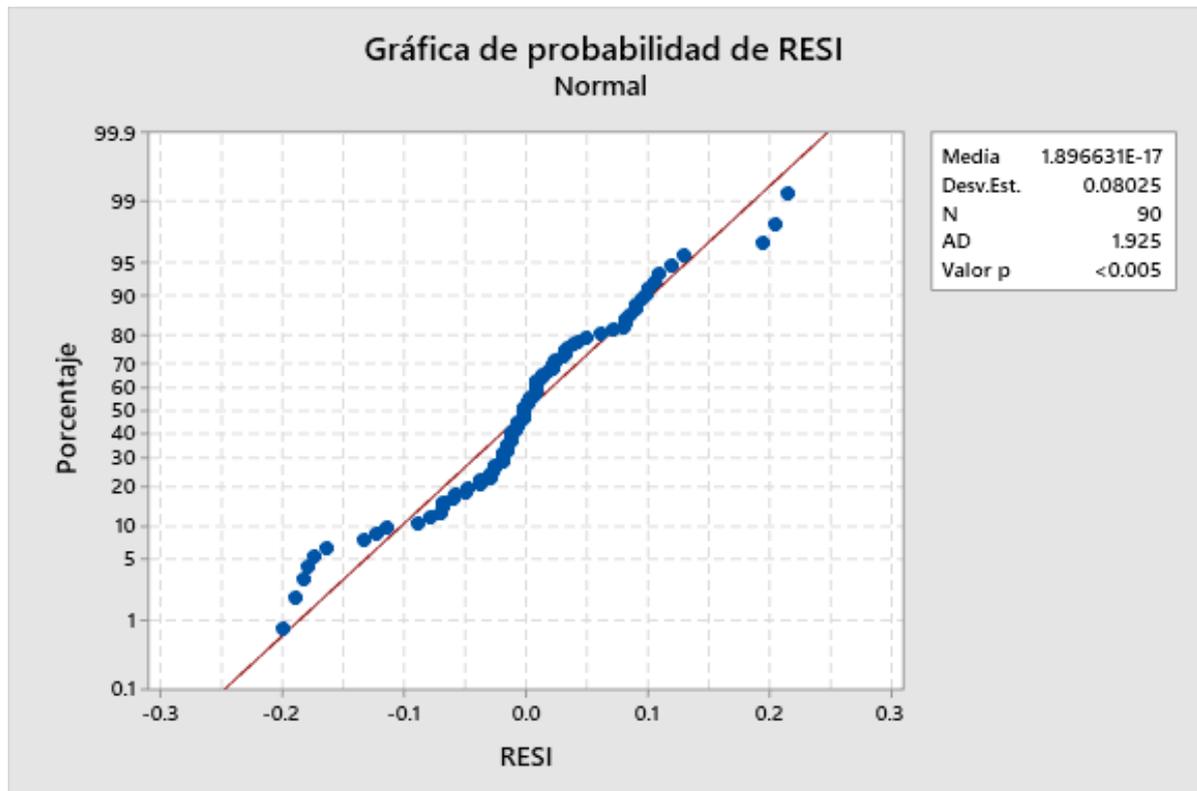
Se establecen las siguientes premisas:

H₀: Los residuos se distribuyen normalmente

H_a: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 11

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de Cadmio aplicando los tratamientos



Nota. Elaborado en MINITAB versión 2019.

De lo calculado se obtiene que el valor $p < 0.05$ ($p < 0.005$) como también el indicador ($AD = 1.925$) por consiguiente se rechaza la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores no presentan una distribución Normal, esto se debe que la experimentación presenta una dispersión exponencial de datos.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H_0 : Las varianzas son iguales

H_a : Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Levene = 14.19 y p valor = 0.001 < 0.05, se rechaza la hipótesis nula por consiguiente al menos una varianza es diferente.

- ✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir cadmio por dos tratamientos en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco

H₀: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí.

H_a: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

Teniendo en cuenta el coeficiente F= 164.12 y un p-valor = 0.000 y sabiendo que p-valor < 0.05 se decide aceptarla hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

- ✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey) Prueba Tukey:

H₀: $\mu_i = \mu_j$

H_a: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 21

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para remoción de Cadmio

TRATA+CONCENT	N	Media	Agrupación	
T1C1	15	0.81	A	
T1C2	15	0.47	B	
T1C3	15	0.21	C	
T2C2	15	0.16	C	D
T2C1	15	0.16	C	D
T2C3	15	0.11	D	

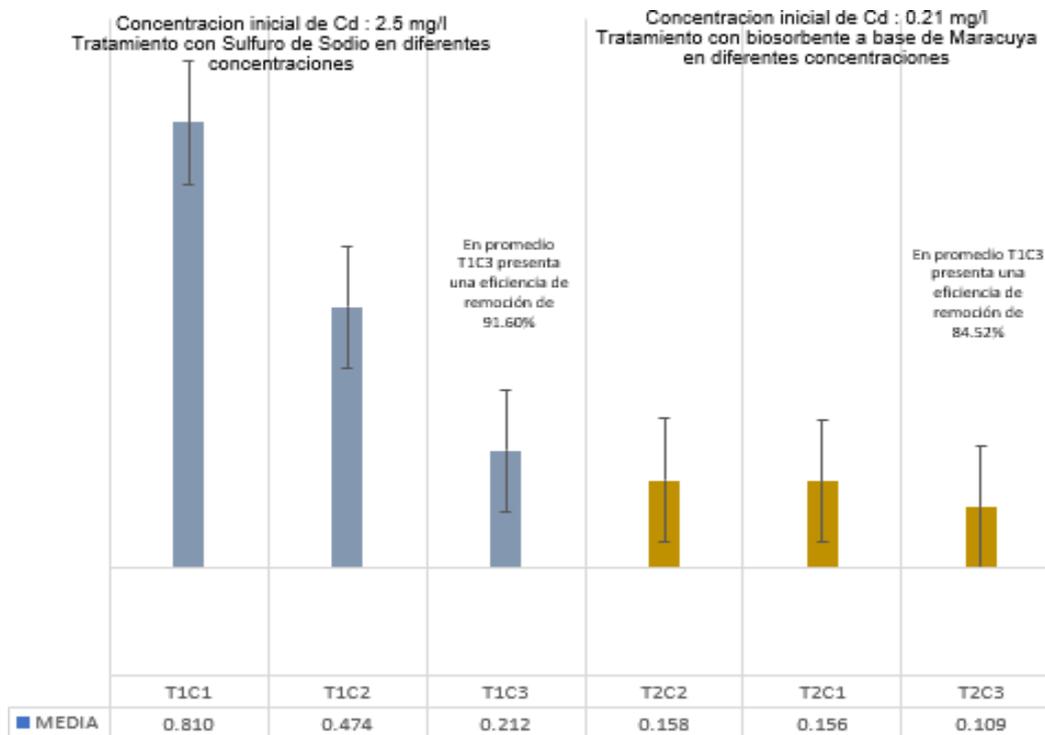
Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que en primera instancia con en el primer tratamiento con concentración C3 (T1C3) presenta mayor disminución en promedio de la concentración de cadmio aplicando sulfuro de Sodio como tratamiento a su vez el tratamiento con biosorbente a base de cascara de maracuyá como segundo tratamiento en concentración C3 (T2C3) presenta mayor disminución en promedio de la concentración de cadmio, se observa que las medias en el tratamiento 2 en todas sus concentraciones son más homogéneas en

disminución fundamentando mejor aplicación de los tratamientos a la hora de remover cadmio.

Figura 12

Grafica de la prueba Tukey aplicando los tratamientos a Drenaje Acido obtenido de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco para la remoción de cadmio



Nota. Figura de autoría propia.

Se observa que las concentraciones en la aplicación son diferentes lo que no permite agruparlos en una distribución normal a los datos más establece tendencias en las cuales se observa que tanto el tratamiento 1 y 2 en concentraciones considerables (C3) presenta eficiencias de remoción considerables según los objetivos trazados.

4.5 Contratación de Hipótesis:

Para ello se tiene la siguiente tabla:

Tabla 22*Contrastación de Hipótesis de Investigación*

Hipótesis General	Argumentación	Contrastación
La optimización del sulfuro de sodio con biosorbente de maracuyá <i>Passiflora edulis</i> permitirá mejorar la remoción de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha, Cerro de Pasco, 2022.	Se observa en el análisis estadístico que aplicando sulfuro de sodio y biosorbente a base de cascara de maracuyá se obtienen eficiencias de remociones mayores al 70% por lo que se optimiza el tratamiento de remoción tanto de cobre como cadmio teniendo mayor efectividad en cadmio	Verdadera
Hipótesis Específicas		
Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles en los drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.	Según los datos obtenidos los parámetros base de concentración de cobre y cadmio se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles.	Verdadera
El Sulfuro de Sodio permite remover parcialmente los niveles de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.	Según los resultados obtenidos se disminuyen los niveles de cobre y cadmio en drenajes ácidos presentando una disminución drástica en cobre y una disminución progresiva en cadmio.	Verdadera
El biosorbente de Maracuyá <i>Passiflora edulis</i> como complemento mejora la eficiencia de remoción en concentraciones elevadas de Cadmio y Cobre en drenajes ácidos de la laguna Quiulacocha en Cerro de Pasco.	Se verifica que aplicando a ambos elementos el tratamiento a base de combinación de ambos permitirá una eficiencia de remoción promedio mayores al 90% y en cadmio mayores de 85%	Verdadera

Nota. Tabla de autoría propia.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Paredes y Valle (2020) en su estudio titulado "*Evaluación de la capacidad de adsorción de la cáscara de limón (citrus limón (l.) Burm. F.) Para la remoción de cromo (VI) de aguas residuales de la empresa textilera Hualhuas*" plantearon como objetivo principal determinar la capacidad de adsorción de la cáscara de limón para erradicar el cromo. Siguiendo esta línea, se encontraron los siguientes hallazgos: 1. de las cantidades de 20, 40 y 60g de cáscara de limón la última obtuvo el porcentaje óptimo de remoción siendo este 96% y 2. de los tiempos de contacto de 8h, 10h y 12 h fue el segundo el cual obtuvo la mejor cantidad de erradicación siendo este de 96% . De acuerdo con los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación, la concentración de biosorbente a partir de la cascara de maracuyá al 25% con dosis de 30, 40 y 50 ml, mostraron una reducción de Cobre hasta 0.50, 0.36 y 0.12 mg/l respectivamente. Con relación a las eficiencias finales alcanzados en la remoción de Cobre con el biosorbente, podemos indicar que los tres mejores valores registrados fueron de 94.79, 96.25 y 98.75 % respectivamente. De la misma forma, con la concentración de biosorbente al 25% con dosis de 40 y 50 ml, mostraron una reducción de Cadmio hasta 0.05 y 0.03 mg/l respectivamente. Con relación a las eficiencias finales alcanzados en la remoción de Cadmio, podemos indicar que los mejores valores registrados fueron de 76.19 y 85.71 % respectivamente.

Murrieta (2019) en su investigación denominada "*Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado mediante cáscara de naranja (Citrus Cinensis) para la remoción de iones de Arsénico en aguas residuales industriales*" planteó como objetivo general evaluar el uso de la cáscara de naranja para remover el arsénico de aguas contaminadas. Para ello, se realizó un estudio bibliográfico en el cual se recolectaron una gran cantidad de investigaciones que pasaron por un filtro acorde a lo requerido para evaluar que sus resultados y la información provista por los mismos sea derivada de lo encontrado en

sus resultados, exista coherencia entre los mismos y contengan datos actualizados sobre la problemática. Es así como, algunos resultados fueron los siguientes. Para Cadmio el porcentaje de remoción suele ser entre 75% a 81% siendo las mejores condiciones una temperatura de 25°C con un pH de 5, 200rpm, un tiempo de contacto de 1h y una concentración de adsorbente de 0.8 g/L. De la misma forma, con la concentración de biosorbente al 25% y con dosis de 40 y 50 ml, mostraron una máxima remoción de Cadmio hasta niveles de 0.05 y 0.03 mg/l respectivamente.

Ansaria et. al (2019) en su estudio titulado "*Litchi chinensis peel biomass as green adsorbent for cadmium (Cd) ions removal from aqueous solutions*"; por lo cual, establecieron como finalidad de la investigación evaluar la capacidad de adsorción de las biomazas del Litchi para así poder crear un método óptimo en costo y efectividad para remover el Cd(II) de los efluentes. Con relación a los resultados encontrados, se obtuvieron los siguientes. En primer lugar, la biosorción de cascaras de Litchi fue de 44% a un pH3, 71.87% a un pH de 4 y 76.64% a un pH de 5; es decir, cuando hay menos pH hay una gran concentración y movilidad de iones de hidrógeno. En segundo lugar, con relación al tamaño de las partículas, la remoción fue de 92.66% a un tamaño de 43 μm , de 80.22% a un tamaño de 104 μm , de 65.78% a un tamaño de 175 μm , y 60.66% a un tamaño de 246 μm . Estos resultados con relación al incremento del pH son similares a los resultados obtenidos en nuestro trabajo de investigación, las eficiencias finales alcanzados en la remoción de Cobre con el biosorbente, podemos indicar que los tres mejores valores registrados fueron a pH de 4.38, 4.59 y 4.52, los cuales alcanzaron eficiencias del 94.79, 96.25 y 98.75 % respectivamente. De la misma forma, con la concentración de biosorbente al 25% con dosis de 40 y 50 ml, mostraron una reducción de Cadmio hasta 0.05 y 0.03 mg/l respectivamente. Con relación a los resultados finales alcanzados en la remoción de Cadmio, podemos indicar que los mejores valores de pH registrados fueron a 4.63 y 4.72, obteniéndose eficiencias del

76.19 y 85.71 % respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo con el primer objetivo se concluye que la caracterización del Drenaje Acido de Mina presenta un pH de 3.38 por debajo de lo establecido en los LMP, mientras que los niveles de Solidos Suspendidos Totales, Cadmio y Cobre exceden las concentraciones admitidas con 117, 2.5 y 75.5 mg/l respectivamente, mientras que la concentración de aceites y grasa se encuentra dentro de los rangos permitidos.
- Con relación al segundo objetivo planteado se concluye que la remoción de Cobre en el drenaje acido de mina tratado con Sulfuro de Sodio a una concentración de 10 g/l y dosis de 30, 40 y 50 ml alcanzaron eficiencias promedio del 87%, mientras que, para el Cadmio con dosis de 20, 30, 40 y 50 ml se obtuvieron eficiencias promedio del 91.6 %.
- De acuerdo con el tercer objetivo planteado se concluye que la remoción de Cobre en el drenaje acido de mina, tratado con el biosorbente a una concentración del 25 % y dosis de 30, 40 y 50 ml alcanzaron eficiencias del 94.79, 96.25 y 98.75 % respectivamente, mientras que para el Cadmio con dosis de 40 y 50 ml se obtuvieron eficiencias del 76.19 y 85.71 % respectivamente.
- Se concluye finalmente que el tratamiento con Sulfuro de sodio para la remoción de Cobre y Cadmio no cumple con los Límites Máximos Permisibles, mientras que el tratamiento complementario con biosorbente de cascara de maracuyá si cumple con los Límites Máximos Permisibles, llegando a concentraciones finales de 0.5, 0.36 y 0.12 mg/l para el Cobre, y de 0.05 y 0.03 mg/l para el Cadmio.

VII. RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de obtener mayores eficiencias en la remoción de niveles elevados de Cobre y Cadmio, se recomienda realizar ensayos de Jar Test con concentraciones superiores a las desarrolladas en la presente investigación.
- Se recomienda utilizar la metodología de la presente investigación para la remoción de Cobre y Cadmio presente en los Drenajes Ácidos de Mina que contengan concentraciones promedio de 75.5 y 2.5 mg/l respectivamente.
- Se recomienda para futuras investigaciones cambiar las variables de operación como el volumen, temperatura, revoluciones, tiempo, y pH a fin de conocer posibles variaciones en el comportamiento y erradicación de Cobre y Cadmio presentes en el Drenaje Acido de Mina.
- Se recomienda utilizar la presente técnica de remoción de Cobre y Cadmio para otros metales pesados presente en los Drenajes Ácidos de Mina, diferentes a las del presente estudio, a fin de verificar su eficiencia.
- Se recomienda al sector competente elaborar un valor límite para otros parámetros fisicoquímicos que no están considerados en los Límites Máximos Permisibles, y que pueden relacionarse con la presencia de metales pesados presentes en los Drenajes Ácidos de Mina.

VIII. REFERENCIAS

- Akpomie, K. G., y Conradie, J. (2020). Banana peel as a biosorbent for the decontamination of water pollutants. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 1-28. 10.1007/s10311-020-00995-x.
- Alayo, B. y Loje, M. (2017). *Evaluación de la adsorción de cobre (II) con cáscara de huevo de las aguas de relave minero*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo.
https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/8953/AlayoVillanueva_B%20-%20LojeRezkala_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ansaria, T., Shaheena, S., Manzoora, S., Nazb, S y Hanifc M.A. (2019). Litchi chinensis peel biomass as green adsorbent for cadmium (Cd) ions removal from aqueous solutions. *Desalination and Water Treatment*,173, 343-350. 10.5004/dwt.2020.24737.
- Barazorda, K. y Lima, E. (2019). *Evaluación de la capacidad de adsorción de oro con carbón activado obtenido a partir de la cáscara de castaña* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
http://200.48.82.27/bitstream/handle/20.500.12918/4484/253T20190486_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castañeda, H. M. (2017). *Influencia de Ph y concentración de cáscara de maracuyá en la adsorción de Plomo en un efluente minero de Llacuabamba –Pataz* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/29000/Casta%c3%b1eda%20Conterras%20Hayden%20Milagros.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D. y Sandoval, I. (2015). Tratamientos

- parala Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 73-90.
- Cordero, M. y Pinedo, A. (2021). *Remoción de Plomo Usando un Prototipo de Biofiltro, Cascara de Naranja en Aguas del Rio Santa, Sector Chuquicara – Ancash, 2021* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/72462/Cordero_RMDP-Pinedo_AAR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dávila, N. (2012). *Caracterización del Proceso de Biosorción de Metales Pesados Mediante Residuos Sólidos de Café Nuevo León – México*.
<http://eprints.uanl.mx/2728/1/1080237535.pdf>
- Dionisio, E. (2020). *Impacto de productos biodegradables aplicados al suelo sobre la acumulación de cadmio en cacao* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio de la Universidad Agraria de La Molina.
<https://bit.ly/3A6FmpS>
- Fu, L., Li, J., Wang, G., Luan, Y. & Dai, W. (2021). Adsorption behavior of organic pollutants on microplastics. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 217, 1-15.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112207>
- Fúquene, D. y Yate, A. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *ECAPMA*, 2(1), 1-7.
<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2771/2857>
- González, A., Pokrovsky, O., Santana, J.M. & González, M. (2017). Chapter 8: Bioadsorption of Heavy Metals. *Prospects and Challenges in Algal Biotechnology*, 233–255.10.1007/978-981-10-1950-0_8
- Hernández, M., Sanz, L. y Mancebo, J. (2014). *Tratamiento de bajo coste para aguas*

contaminadas por actividades de minería. En *Diseño y Tecnología para el Desarrollo*.

https://oa.upm.es/44286/1/INVE_MEM_2014_238768.pdf

Huaraca, J. N., Pérez, L., Bustinza, L. S., & Pampa, N. B. (2020). Organic amendments in the immobilization of cadmium in contaminated agricultural soils: A review. *Información Tecnológica*, 31(4), 139–152. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000400139>

Janampa, Y. y Quiroz, M. (2021). *Remoción de carga orgánica de Aguas Residuales Domésticas por el Método de Coagulación con sulfato de aluminio en el lugar agua de Vichi – Santa Sna – Huancavelica* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/3946/TESIS-2021-%20ING.%20AMBIENTAL-JANAMPA%20CHOQUE%20Y%20QUIROZ%20QUISPE.pdf?sequence=1&isAll%20owed=y>

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.

Lazarte, E., Nonato, J. y Vallejos, F. (2019). *Uso de la cáscara de maracuyá (*Pasiflora edulis*) para la bioadsorción de metales pesados de cobre y zinc en aguas del río Chillón, Callao, 2019* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.

Marmanillo, V. y Taboada, H. (2019). *Evaluación de la adsorción de cobre (II) con cáscara de huevo de las aguas de Relave Minero* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5994/T010_47536134_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Martínez, M. (2020). *Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*.
Universitat Politècnica de Valencia.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Mart%C3%ADnez%20-%20An%C3%A1lisis%20Instrumental.%20Espectrometr%C3%ADa%20de%20Absorci%C3%B3n%20At%C3%B3mica%20%28EAA%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35703/B_Lazarte_SER-Nonato_CJK-Vallejos_DFK.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2010). *Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas. D.S. 010-2010- MINAM*.

Murrieta, L. (2019). *Evaluación de la capacidad de adsorción del carbón activado mediante cáscara de naranja (Citrus Cinensis) para la remoción de iones de Arsénico en aguas residuales industriales* [Tesis de bachillerato]. Universidad Peruana Unión.

https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/2451/Llely_Trabajo_Bachillerato_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Paredes, M. y Valle, M. (2020). *Evaluación de la capacidad de adsorción de la cáscara de limón (citrus limón (l.) Burm. F.) para la remoción de cromo (VI) de aguas residuales de la empresa textilera Hualhuas* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional del Centro del Perú.

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6474/T010_70346918_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pavithra, S., Thandapani, G., S, S., P.N., S., Alkhamis, H. H., Alrefaei, A. F., & Almutairi, M.H. (2021). Batch adsorption studies on surface tailored chitosan/orange peel hydrogel composite for the removal of Cr(VI) and Cu(II) ions from synthetic wastewater. *Chemosphere*, 271, 1-13.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653520336134>

Paytan, T. (2021). *Adsorción de Plomo (II) usando cáscara de plátano (Musa Pradisiaca) en aguas contaminadas* [Tesis doctoral]. Universidad Nacional del Centro del Perú.

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7622/T010_41195365%20%20D.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rai, L.C, Gaur, J.P., & Kumar, H.D. (1981). Phycology and heavy-metal pollution. *Biological Revisions*, 56(2), 99–151. doi:10.1111/j.1469-185x.1981.tb00345.x

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>

Rodríguez, R. (2019). *Remoción de Metales Pesados presentes en el Drenaje Ácido de Minería y su impacto ambiental en la comunidad de la cuenca Porcón*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao.

http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/4197/Rodriguez%20Vilchez_IF_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Romero Rojas, J. A. (2004). Tratamiento de aguas residuales. *Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería.

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>

Simate, Geoffrey S.; Ndlovu, Sehliselo (2014). Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1785–1803. 10.1016/j.jece.2014.07.021

Tripathi, P.C. (2018). Passion Fruit. In Peter, K V (Ed). *Horticultural Crops of high*

nutraceutica values.

<https://krishi.icar.gov.in/jspui/bitstream/123456789/17866/1/tripathi%20->

[Chapter Passion%20fruit.pdf](#)

Urcón, E. (2021). *Influencia de la masa de adsorbente y pH en la remoción de fierro y cobre de drenaje ácido de mina*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7010/T010_41355838_

[M.pdf?sequence=1&isAllowed=y](#)

Zhang, L., Ren, Y., Xue, Y., Cui, Z., Wei, Q., Han, C., & He, J. (2020). Preparation of biochar by mango peel and its adsorption characteristics of Cd(ii) in solution. *RSC Advances*, 10(59), 35878–35888.

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/ra/d0ra06586b>

IX. ANEXOS

A. PANEL FOTOGRAFICO



38.1



33.33



28.57



14.29