

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Remoción de metales pesados utilizando
mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro
de Pasco, Perú - 2023**

Edison Quispe Ccanto
Rimber Torres Romero

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Rafael Carrasco Soto
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 7 de Mayo de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

“REMOCIÓN DE METALES PESADOS UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACTUS EN LA LAGUNA SMELTER DE CERRO DE PASCO, PERÚ - 2023”

Autores:

1. Edison Quispe Ccanto – EAP. Ingeniería de Minas
2. Rimber Torres Romero – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma “Turnitin” y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 18 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir “SI”): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

DEDICATORIA

A: Nuestro creador por acompañarnos en cada momento y circunstancias de nuestra vida y proporcionarnos amor, coraje, seguridad y confianza para superar cada circunstancia.

AGRADECIMIENTOS

- A : Dios por habernos proporcionado una familia y personas maravillosas, que siempre estuvieron acompañándonos incondicionalmente.
- A : Nuestra familia por ser la inspiración en este período de mi vida.
- A : Los docentes de la Universidad Continental, por impartirnos sus conocimientos durante mi formación profesional.

Los autores.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	11
1.1 Planteamiento y formulación del problema.....	11
1.1.1 Problema general.....	11
1.1.2 Problemas específicos	11
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo general	11
1.2.2 Objetivos específicos.....	12
1.3 Justificación de la investigación.....	12
1.3.1 Justificación práctica	12
1.3.2 Justificación económica	12
1.3.3 Justificación social	12
1.4 Delimitación de la investigación.....	12
1.4.1 Territorial	12
1.4.2 Temporal	12
1.4.3 Conceptual.....	13
1.5 Hipótesis y variables	13
1.5.1 Hipótesis general	13
1.5.2 Hipótesis específicas	13
1.5.3 Identificación de las variables	13
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Antecedentes de investigación	19
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1 Metales Pesados	23

2.2.2	Opuntia Ficus	27
2.2.3	Definición de términos básicos.....	29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		33
3.1	Enfoque de investigación	33
3.2	Tipo de investigación.....	33
3.3	Nivel de investigación	33
3.4	Diseño de investigación	33
3.5	Métodos de investigación	33
3.6	Población, muestreo y muestra	33
3.6.1	Población.....	33
3.6.2	Muestra	33
CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		35
4.1	Presentación de resultados	35
4.1.1	ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA.....	35
4.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	41
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		43
5.1	Conclusiones.....	43
5.2	Recomendaciones	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		45
ANEXOS		48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de Operacionalización de la variable Remoción de metales pesados	15
Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable Mucilago de Cactus.....	18
Tabla 3. taxonomía de la tuna.	29
Tabla 4. Concentración inicial y final de los metales pesados.....	35
Tabla 5. Concentración inicial de los metales pesados.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes de contaminación por metales pesados en aire, suelo, agua y planta.....	26
Figura 2. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos....	27
Figura 3. Planta Opuntia Ficus – Cactus	28
Figura 4. Variación del pH con la aplicación de mucilago y fécula de patata	36
Figura 5. Variación de la conductividad con la aplicación de mucilago y fécula de patata ...	36
Figura 6. Variación de la temperatura con la aplicación de mucilago y fécula de patata.	37
Figura 7. Variación de la turbidez con la aplicación de mucilago y fécula de patata.	37
Figura 8. Eliminación de Aluminio.....	38
Figura 9. Eliminación de cobre	39
Figura 10. Eliminación del hierro	40
Figura 11. Extracción del plomo.....	40
Figura 12. Eliminación del zinc.....	41

RESUMEN

La investigación se realizó en la laguna Smelter de Cerro de Pasco. El objetivo de este estudio fue determinar la eficiencia de la aplicación del mucílago de cactus en la remoción de los metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco. El método de investigación es experimental, por ello se tomó 2 muestras de la laguna para ser enviado al laboratorio, una muestra inicial y otra final con la aplicación del mucílago de cactus. Se realizaron análisis de los parámetros como la turbidez, pH, temperatura, conductividad y análisis de metales pesados (aluminio, cobre, hierro, plomo y zinc).

Como resultado se obtuvo que el pH disminuyó de 8,25 a 7,06. La turbidez bajó de 320,00 NTU a 145,00 NTU. En cuanto a los metales pesados, la concentración del aluminio disminuyó de 1.966 mg/l a 1.72 mg/l, cobre de 0.364 mg/l a 0.28 mg/l, hierro de 8.844 mg/l a 6.788 mg/l, plomo de 0.554 mg/l a 0.515 mg/l y zinc de 1.856 mg/l a 1.538 mg/l.

En conclusión, la aplicación del mucílago de cactus para remover los metales pesados, redujo efectivamente los niveles de aluminio, cobre, hierro, plomo y zinc. Esto demostró su efectividad como tratamiento natural en aguas contaminadas con metales pesados. También la mayor disminución porcentual fue para el cobre (22,9 %) y el aluminio (12,5 %).

PALABRAS CLAVE: aguas contaminadas, metales pesados, mucílago de cactus, parámetros, tratamiento.

ABSTRACT

The research was carried out in the Smelter lagoon Cerro de Pasco. The objective of this study was to determine the efficiency of the application of cactus mucilage in the removal of heavy metals in the Smelter lagoon Cerro de Pasco. The research method is experimental, therefore 2 samples were taken from the lagoon to be sent to the laboratory, an initial sample and a final sample with the application of cactus mucilage. Analysis of parameters such as turbidity, pH, temperature, conductivity and analysis of heavy metals (aluminum, copper, iron, lead and zinc) were carried out.

As a result, it was obtained that the pH decreased from 8.25 to 7.06. Turbidity dropped from 320.00 NTU to 145.00 NTU. Regarding heavy metals, the concentration of aluminum decreased from 1.966 mg/l to 1.72 mg/l, copper from 0.364 mg/l to 0.28 mg/l, iron from 8.844 mg/l to 6.788 mg/l, lead from 0.554 mg/l to 0.515 mg/l and zinc from 1,856 mg/l to 1,538 mg/l.

In conclusion, the application of cactus mucilage to remove heavy metals effectively reduced the levels of aluminum, copper, iron, lead and zinc. This demonstrated its effectiveness as a natural treatment in water contaminated with heavy metals. Also the largest percentage decrease was for copper (22.9%) and aluminum (12.5%).

KEYWORDS: contaminated water, heavy metals, cactus mucilage, parameters, treatment.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la contaminación de aguas es ocasionada por diferentes factores. Una de ellas es la industria minera que contamina el agua mayormente con metales pesados, esto es debido al uso del agua en sus diferentes procesos, afectando inevitablemente el medio ambiente. El agua es esencial para para el funcionamiento saludable de los ecosistemas y la salud humana. Existen varios métodos para eliminar los metales pesados presentes en el agua. Sin embargo, un tratamiento amigable con el medio ambiente es el uso de mucílago de cactus. La laguna Smelter de Cerro de Pasco está contaminada con metales pesados a causa de las actividades mineras.

La presente tesis titulada “Remoción de metales pesados utilizando mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú- 2023”, busca determinar la efectividad del mucílago de cactus, realizando comparaciones con la muestra inicial y la muestra final, después de aplicar este tratamiento. Analizando cada parámetro, desarrollando conclusiones positivas para este estudio y aportando una solución para tratar el agua, lo cual es fundamental para los seres vivos y el medio que lo rodea.

El objetivo de la investigación es determinar la eficiencia de la aplicación del mucílago de cactus removerá los metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú - 2023.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

Los metales pesados son contaminantes inorgánicos nocivos y la contaminación de las masas de agua por metales pesados es un problema crítico para la salud y el medio ambiente. Las altas concentraciones de metales pesados en las aguas son una amenaza para la salud y el medio ambiente.

La laguna Smelter ubicada en el centro poblado Smelter colindante con el centro poblado Colquijirca distrito de Tinyahuarco, provincia de Pasco, está abierta a aguas residuales sin tratamiento, escorrentía y aguas residuales de relaves mineros. Los cuerpos de agua con presencia de metales pesados causan grave contaminación y los métodos de tratamiento son muy costosos.

Es por ello por lo que se ha promovido la investigación de tecnologías para la reducción de metales pesados y turbidez, las cuales deben ser económicas, confiables y seguras; los materiales de origen vegetal son los más recomendables por ser renovables, biodegradables y económicos.

1.1.1 Problema general

¿En qué medida la aplicación del mucílago de cactus removerá los metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la reducción porcentual de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas de la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023?
- b) ¿Cuál es el porcentaje de reducción de turbidez que se obtendrá aplicando el mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la eficiencia de la aplicación del mucílago de cactus removerá los metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023

1.2.2 Objetivos específicos

a) Determinar el porcentaje de reducción de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas de la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023.

a) Determinar el porcentaje de reducción de turbidez que se obtendrá aplicando el mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023.

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación práctica

La presente investigación contribuye a encontrar solución a los problemas de contaminación de las aguas por los efluentes de las relaveras de los procesos mineros, aplicando conocimientos teóricos para generar alternativas de manejo práctico a favor de la calidad ambiental del ecosistema.

1.3.2 Justificación económica

La presente investigación tiene como propósito principal la reducción de metales pesados, para ello se utilizó el mucílago de cactus siendo una de las alternativas más viables y económicos ayudándonos a disminuir la problemática ambiental ocasionada por la Minería.

1.3.3 Justificación social

La tesis desarrollada contribuye a encontrar solución a la problemática ambiental y social, ya que el agua es un recurso fundamental para el ser humano, pero debido al aumento poblacional y la actividad minera este recurso se ha visto afectado, permitiéndonos investigar métodos y/o alternativas de solución como el mucilago de cactus que es eficiente tanto para la remoción de metales y la turbidez.

1.4 Delimitación de la investigación

1.4.1 Territorial

La tesis se realizó en el centro poblado de Colquijirca, Distrito de Tinyahuarco, Provincia de Pasco - Departamento de Pasco.

1.4.2 Temporal

La tesis se realizó en el año 2022.

1.4.3 Conceptual

La tesis estudió las siguientes variables:

- Remoción de metales pesados
- Mucílago de cactus

1.5 Hipótesis y variables

1.5.1 Hipótesis general

La aplicación del mucílago de cactus remueve eficientemente los metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023

1.5.2 Hipótesis específicas

- a) Se removió en más del 50% de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas de la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023.
- b) Se redujo la turbidez aplicando el mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023.

1.5.3 Identificación de las variables

Variable 1: REMOCIÓN DE METALES PESADOS

Los metales, y en particular los metales pesados como Cd, Zn, Pb, Cu y Mn son peligrosos para la vida cuando contaminan el agua, el aire y los alimentos en cantidades más altas que los límites permitidos. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación, ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia, por mencionar algunos y en ocasiones hasta la muerte. (1)

Variable 2: MUCÍLAGO DE CACTUS

Definición conceptual: El mucílago de Opuntia es un fito ingrediente, los cactus son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5m de altura. El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría.

La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización. (2)

Su tronco es leñoso y mide entre 20 y 50 cm de diámetro. Sus ramas están formadas por cladodios de 30 a 60 cm de largo x 20 a 40cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. El cladodio fresco recibe el nombre de nopalito y el adulto de penca. En las pencas, de color verde opaco, se realiza la fotosíntesis, pues éstas remplazan a las hojas con esa función. Se encuentran protegidas por una cutícula gruesa que, en ocasiones, está cubierta de cera o pelos que disminuyen la pérdida de agua, ya que poseen abundante parénquima. En este tejido se almacenan considerables cantidades de agua lo que permite a las plantas soportar largos periodos de sequía. Cabe destacar el papel de los mucílagos (hidrocoloides presentes en este tejido) que tienen la capacidad de retener el agua (3)

Operacionalización de las variables

En la página a continuación se aprecia la matriz de operacionalización de variables.

Tabla 1. Matriz de Operacionalización de la variable Remoción de metales pesados

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Remoción de metales pesados	Son peligrosos para la vida cuando contaminan el agua, el aire y los alimentos en cantidades más altas que los límites permitidos. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no	Proceso de extracción de metales pesados presentes en el agua a través de la aplicación de mucílago de cactus como agente coagulante.	Temperatura	Grados Celsius	Razón
			Ph	Escala de 0-14	Razón

ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar

	Metales Pesados	NTU	Razón
	% de Turbidez	mg/L	Razón

	<p>síntomas de intoxicación, ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia, por mencionar algunos y en ocasiones hasta la muerte.</p>		<p>% de Remediación</p>	<p>Porcentaje</p>	<p>Razón</p>
--	---	--	-------------------------	-------------------	--------------

Nota: Elaboración propia.

Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable Mucilago de Cactus

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Mucilago de cactus	El mucílago de Opuntia es un fitoingrediente, los cactus son plantas arbustivas, rastreras o erectas que pueden alcanzar 3,5 a 5m de altura. El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría.	Sustancia viscosa extraída de las pencas del cactus Opuntia ficus-indica utilizada por sus propiedades coagulantes.	Coagulante	Capacidad de coagulación	Razón
			Floculante	Capacidad de floculación	Razón
			Biodegradable	% de degradabilidad	Razón
			Biosorbente	% de adsorción	Razón

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

En la investigación “**Evaluación de penca de tuna como aditivo natural para remoción de la turbidez del agua del río San Gabán, Puno**”. El objetivo fue evaluar la influencia de la penca de la tuna como aditivo natural para la remoción de la turbidez del agua del río, San Gabán, Puno 2022. Los resultados del estudio indican, de la remoción de la turbidez del agua adicionando mucílago de penca de tuna para las muestras T-0(289.50NTU), T-10(3.115NTU), T-25(6.19NTU) y T-50(10.40NTU), también, para la dosis adecuada según a las muestras T-10(3.08NTU), T-25(6.06NTU) y para T-50(10.02NTU), de igual manera, para la eficiencia de la penca de tuna de las muestras T-10(98.93%), T-25(97.86%) y para T-50(96.41%). que la remoción de la turbidez del agua se logró con la dosis

La conclusión señala que la remoción de la turbidez del agua se logró con dosis T-10 mg a velocidades de 50 rpm y 100 rpm, que fue la más adecuada, efectiva y permisible según las normas de la OMS y del MINAM (NTU=5), lo que indica que el uso de mucílago de penca tuna tiene un efecto en el ECA-Inicial para la remoción de la turbidez del agua. (4)

En la investigación titulada “**Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (Opuntia ficus – indica) en la remoción de la turbidez del río Ichu – Huancavelica – 2019**”. Consignan como objetivo evaluar la eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (Opuntia ficus – indica) en la remoción de la turbidez del río Ichu. La investigación fue realizada con una muestra de 60 litros de agua con valores de turbiedad inicial entre 1561 a 1568 (NTU). Concluyendo que se obtuvo una eficiencia ligeramente mayor con el coagulante natural al 99.15% con respecto al sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ con una eficiencia al 99.00%. (5)

En la investigación titulado **Aplicación del mucílago de nopal en la remoción de turbidez en aguas contaminadas del río Chilca por efluentes domésticos en la provincia de Huancayo 2020**. El objetivo fue determinar la influencia del mucílago de nopal en la remoción de turbidez en aguas contaminadas del río Chilca por efluentes domésticos, Huancayo 2020. El método de la investigación es experimental, el cual se dividió en trabajo de campo, donde se realizó la extracción del mucílago de nopal y la

toma de muestras del río Chilca; en el trabajo en laboratorio, se desarrollaron los análisis físicos (olor, turbidez, TSD, TSS y temperatura) y los análisis químicos (oxígeno disuelto, pH, conductividad eléctrica y DQO), para determinar la dosificación adecuada del mucílago de nopal para la remoción de la turbidez, se usó el vaso precipitado, varillay una probeta. Para determinar los resultados se caracterizó el río Chilca, en los parámetros físicos y químicos, para lo cual se tomaron 6 muestras de 1 L, cada una de ellas al ser analizadas y al ser comparadas por lo establecido en el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua de Categoría 3 (C3) y la normativa establecida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) parariego, muestran un exceso en las concentraciones de cada parámetro analizado. Concluyendo que la eficacia del mucílago de nopal en la remoción de la turbidez de un 60 % y la mejora del parámetro físico hasta un 80 % y químico de 65 % a 100 %. (6)

En la investigación titulada **Remoción de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita como agente remediante a escala experimental-2019**. El estudio versa sobre la dolomita que es un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)$), que se comporta como un efectivo reactivo de purificación de aguas contaminadas con AMD, debido a las propiedades fisicoquímicas de la neutralización, así como la adsorción de iones metálicos disueltos en las aguas ácidas. Por otro lado, es un método alternativo de precipitación y purificación de drenajes ácidos de mina, logrando neutralizar y reducir las concentraciones de los iones de metales pesados, tales como el cobre, plomo, hierro y zinc presente en las aguas ácidas de la laguna Yanamate. Como objetivo fue determinar la eficiencia de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicabilidad de la dolomita como agente remediante. (7)

En la tesis titulada **Efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019**. El objetivo fue evaluar el efecto de la dosis y tiempo óptimo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante Opuntia ficus-indica como ayudante en el proceso de potabilización de agua Huancavelica-2019. Para ello como muestra se estableció el agua que se encuentra en la cámara de reparto de la PTAP Millpo, por un muestreo no probabilístico. Como resultados se obtuvo la dosis y tiempo óptimas de sulfato de

aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante (3 y 5 mg/L); siendo estos 58 mg/L y 15 minutos, 60 mg/L y 15 minutos alcanzando remociones de 89.01 % y 87.32 %, respectivamente, además de ello para determinar la dosis óptimas de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ y penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante, en las dosis de 3 mg/L y 5 mg/L de 58 mg/L, con una remoción efectiva del 75.64 % y 65 mg/L con un porcentaje de remoción de partículas coloidales de 72.03 % respectivamente. En conclusión, la mejor dosis de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como ayudante fue de 3 mg/L respecto de 5 mg/L; debido a la mayor remoción alcanzada con un tiempo óptimo de 15 minutos. **(8)**

En la tesis titulada **Determinación de las características coagulantes del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) para remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de aguas superficiales**. La tesis tiene como objetivo: Analizar la eficacia del coagulante orgánico elaborado a partir del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) mezclado con el mucilago encontrado en la penca de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) para la sustitución de coagulantes metálicos tradicionales usados en el tratamiento de aguas superficiales.

En esta investigación se estudió la eficacia de la Tuna en combinación con el almidón de papa como coagulante para el tratamiento de aguas superficiales del río Vices, donde se comprobó que dichos compuestos orgánicos pueden reemplazar a los compuestos metálicos normalmente utilizados en el tratamiento de agua. Se demostró como estos compuestos forman el floc gracias a las reacciones iónicas que se llevan a cabo al estar en contacto con los coloides presentes en el agua. La recolección de la muestra se realizó siguiendo los estándares establecidos en la Norma INEN 2 169:1998 y en la Norma INEN 2 176:2013. **(9)**

En la tesis titulada **Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas ácidas de minas**. El objetivo fue obtener un polímero natural como coagulante a base de tuna (*Opuntia ficus-indica*) para el tratamiento de aguas ácidas de minas. Logrando disminuir la acidez de las aguas en un 66,47%. Así mismo ha logrado reducir significativamente la concentración de los metales Cu, Fe, Pb y Zn presente en las AAM. Por lo que se ha podido concluir que el mucílago de la tuna es un polímero natural que puede reemplazar a cualquier otro coagulante sintético, por ser de bajo costo, reducir la acidez de las AAM, así como también disminuir la toxicidad de las mismas. **(10)**

En la investigación **Evaluación de la Remoción de la Turbidez del Agua del Rio Fucha por Medio del Fruto de la Planta Arbustiva Cactus (Opuntia ficus indica) como Coagulante Natural.** plantea como objetivo evaluar la actividad coagulante del fruto de la planta arbustiva Cactus (Opuntia ficus indica) en el tratamiento de la turbidez en la cuenca media del Rio Fucha. A cada una de las muestras de agua residual se les tomo la turbidez inicial y turbidez final mediante la utilización de un turbidímetro, con el fin de estudiar el comportamiento de los sólidos suspendidos en cada muestra y determinar la eficacia de los coagulantes, este proceso es apoyado mediante test de jarras, para cada polímero se trabajó con un pH de remoción óptima en un rango de 6.0 a 8.0, utilizando temperatura ambiente, se emplearon beaker con 800 ml de agua residual agregando $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ y el fruto (en polvo) de la planta arbustiva Cactus (Opuntia ficus indica) en concentraciones de 0.0627 g/ml, 0.0771 g/ml y 0.0910 g/ml, extraídos de una muestra madre con una concentración de 0.9 g/ml, en donde se agregaron 90 gramos de cada coagulante en presentación sólida en 1000 ml de agua destilada, posteriormente se dejó agitar durante 20 minutos en una plancha con agitación magnética y finalmente se realizó 6 réplicas por tratamiento. **(11)**

En la investigación **“Evaluación de penca de tuna como aditivo natural para remoción de la turbidez del agua del río San Gabán, Puno”.** El objetivo fue determinar la eficiencia de un coagulante natural obtenido del mucílago del tallo de pitaya como coagulante en el tratamiento de agua cruda. a. Para este trabajo de investigación se instó por usar el mucílago de tallo de pitaya como agente coagulante en agua preparada en condiciones de turbiedad y color controladas en laboratorio para posteriormente evaluar el coagulante natural en agua cruda traída de una fuente natural de agua. Los resultados que se obtuvieron mostraron que el mucílago de tallos de pitaya consiguió remover el 75% de la turbiedad del agua en condiciones controladas y 78% en agua de agua cruda natural, esto permite indicar que el uso de este coagulante puede indicarse como un coagulante preliminar o coadyuvante en el proceso de tratamiento en aguas crudas sin tratar. **(12)**

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Metales Pesados

2.2.1.1 Metaloides, metales pesados

a) *Arsenico*

Considerada la sustancia más nociva para el organismo humano y los animales, el máximo nivel tolerable en el ganado es de 50 mg/Kg de tipo inorgánico y de 100 mg/Kg del tipo orgánico, el primero es el más tóxico, el As (III) es más tóxico que el As (IV), la intoxicación humana se produce por inhalación o ingestión del trióxido de arsénico (As₂O₃), los síntomas son fuertes desórdenes gastrointestinales, calambres, y colapso circulatorio. La intoxicación crónica puede ser causada por ingesta de alimentos y agua que contienen arseniuros, o por exposición laboral al inhalar durante mucho tiempo polvo en el lugar de trabajo, produciendo pigmentación en la piel lesiones en la medula ósea, sangre, hígado, vías respiratorias, y sistema nervioso central, además puede generar bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; así como también enfermedades vasculares. Suele encontrarse en las fuentes de agua potable a causa de la contaminación del agua por los procesos industriales, uso de pesticidas y por procesos (13).

b) *Cadmio*

Presente en los suelos y rocas en forma natural, se incorpora al ambiente a través de los fertilizantes, plásticos, baterías, pilas, compuestos asociados al zinc, pinturas, aplicación de desechos al suelo y otros. Es tóxico para el hombre y para los animales con efectos agudos de corto plazo y crónicos de mediano y largo plazo, se acumula en el hígado y en los riñones, la vida media en el riñón es de 18 a 33 años. La concentración crítica del cadmio que produce daño en la corteza renal es de 200 µg/g, la dosis diaria para proteger la salud humana según la OMS es de 70 µg/g. Una dieta baja en Hierro

contribuye al aumento de retención de cadmio, deficiencias de cadmio también aumentan la adsorción de cadmio.(13)

c) *Plomo*

No es un elemento esencial para los humanos plantas y animales, es tóxico para humanos, particularmente los niños, se encuentra en el aire, agua, polvo, suelo y dieta y es tóxico para los animales para dosis de 30 mg/kg en la dieta. La principal fuente de contaminación es la gasolina con agregado de orgánico de plomo, es considerada como la segunda mayor toxina para el cuerpo, puede desencadenar alteraciones neurológicas, anemia o cáncer de riñón. Afecta al sistema nervioso y causa problemas en el crecimiento. Está presente en baterías y pesticida. De acuerdo con el Center for Disease Control and Prevention (CDC) de Estados Unidos, el valor a partir del cual se consideran niveles elevados de PbS en todos los grupos etarios de la población general es 5 µg/dl. (14)

d) *Mercurio*

Elemento tóxico para el humano, animales y plantas en forma de metil, el metilmercurio es neurotóxico, los peces y semillas contaminadas con mercurio han producido serios envenenamientos en humanos. Llega al suelo por deposición de partículas atmosféricas o por la utilización en la agricultura en fungicidas, insecticidas y otros. Se acumula en los organismos y puede producir alteraciones neurológicas y problemas del sistema respiratorio. (15)

e) *Cobre*

Esencial para los humanos y animales, está asociado con las proteínas y enzimas, esencial para la reproducción. En concentraciones entre 25 a 100 mg/kg es tóxico para el ganado, se acumula en el cerebro, hígado y pelo. Tóxico para el hombre, pero no venenoso, los efectos agudos que puede causar son úlceras gastrointestinales, necrosis, hepática, y daño renal, su deficiencia puede producir anemia asociada a los problemas de absorción de hierro, desequilibrios mentales o nerviosos, problemas en los huesos y sistema cardiovascular, el hígado tiene la

capacidad de reciclarlo. Dosis de 25 a 40 mg/kg es tóxico para las plantas. **(16)**

f) Zinc

Esencial para los humanos, los animales y las plantas, está asociado a una serie de procesos metabólicos importantes, es un nutriente indispensable para la salud humana y animal, las mayores concentraciones se encuentran en los huesos, músculos, piel y otros tejidos corporales, es excretado por la vía urinaria y por las heces, mucha población mundial padece carencias de este mineral. Ayuda a la formación de insulina, participa en la contracción muscular, esencial para la síntesis de las proteínas, importante para el equilibrio ácido-alcalino de la sangre, normaliza la función de la glándula prostática, necesario para la síntesis del ADN, colabora con el desarrollo del esqueleto, sistema nervioso y cerebro del feto. **(16)**

2.2.1.2 *Exposición de metales pesados (Cd, Pb, Hg, As) y sus efectos en la salud y ambiente*

Los metales son persistentes, una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características fisicoquímicas. La inhalación y la ingesta de alimentos son dos de las causas más sobresalientes de contaminación. Los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, de la concentración y en algunos casos de la edad de la población expuesta. Algunos estudios que evalúan la contaminación de metales pesados en alimentos, carne y leche, han encontrado que el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico, son cuatro de los elementos que por su impacto en la salud y concentración deben ser cuidadosamente evaluados y monitoreados. La fuente de contaminación y su incorporación en la cadena alimenticia se ilustra en la gráfica de la figura 1.

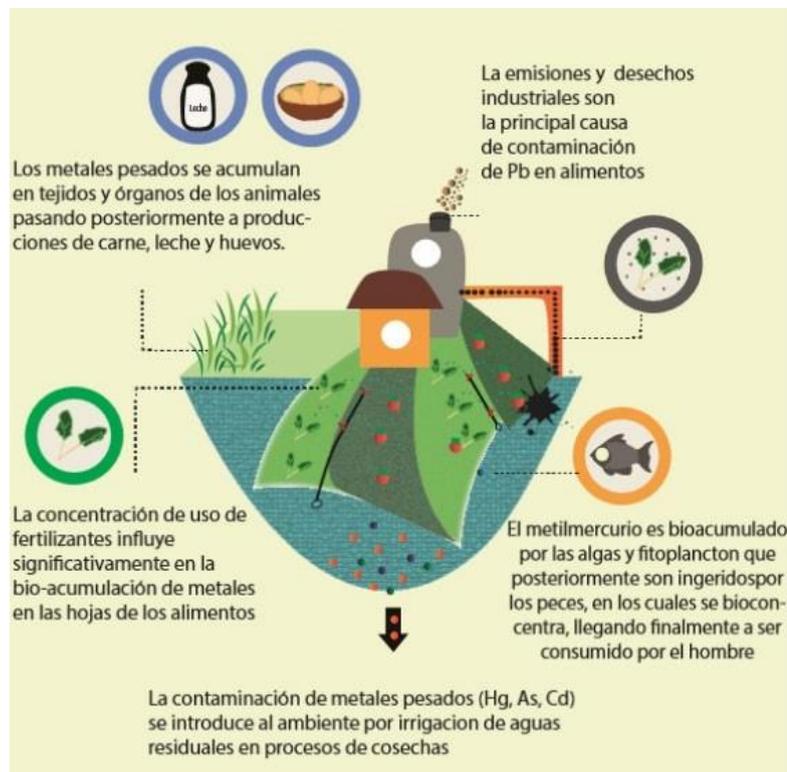


Figura 1. Fuentes de contaminación por metales pesados en aire, suelo, agua y planta

Nota: (Reyes et al. 2016)

2.2.1.3 Metales Pesados en el Perú

Numerosos volcanes, aguas geotermales, fumarolas y pozos geotérmicos se encuentran en la región del Pacífico de América Latina. Estos sistemas se caracterizan por altas concentraciones de As y otros elementos geotérmicos típicos como Li y B. Dos fuentes de As pueden reconocerse en los sitios investigados: arsénico dividido en gases volcánicos y emitido en penachos y fumarolas; y arsénico en rocas de edificios volcánicos que son lixiviados por aguas subterráneas enriquecidas con gases volcánicos. Las aguas se descargan en la superficie del suelo, el As (III) se oxida a As (V) y la atenuación de la concentración de As puede ocurrir debido a procesos de sorción y coprecipitación con minerales de hierro y materia orgánica presente en los sedimentos. En la Tabla 2, se

muestra los límites máximos permisibles de elementos químicos orgánicos e inorgánicos, establecidos para nuestro país. Tabla 2. Límites máximos permisibles de elementos químicos en el Perú.

Parámetros Inorgánicos	Unidad de medidas	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L ⁻¹	0,020
2. Arsénico (nota)	mg As	0,010
3. Bario	mg Ba	0,700
4. Boro	mg B	1,500
5. Cadmio	mg Cd	0,003
6. Cianuro	mg CN ⁻ L ⁻¹	0,070
7. Cloro (nota2)	mg L ⁻¹	5
8. Clorito	mg L ⁻¹	0,7
9. Clorato	mg L ⁻¹	0,7
10. Cromo total	mg CrL ⁻¹	0,050
11. Flúor	mg F ⁻ L ⁻¹	1,000
12. Mercurio	mg Hg L ⁻¹	0,001
13. Niquel	mg Ni L ⁻¹	0,020
14. Nitratos	mg NO ₃ L ⁻¹	50,00
15. Nitritos	mg NO ₂ L ⁻¹	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L ⁻¹	0,010
17. Selenio	mg Se L ⁻¹	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L ⁻¹	0,07
19. Uranio	Mg UL ⁻¹	0,015

Figura 2. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos

Nota: (DIRESA, 2017)

2.2.1.4 Contaminación por metales pesados en alimentos

Para el caso de contaminación por metales pesados en alimentos, los límites máximos permisibles en concentración de metales pesados establecidos por la unión europea y la FAO varían de acuerdo al tipo de alimento (ver tabla 1). Tabla 1: Límites máximos permisibles de concentración de metales pesados (Hg, As, Cd y Pb) en agua, suelo y alimentos de consumo humano. (17)

2.2.2 Opuntia Ficus

2.2.2.1 Concepto

El mucílago de Opuntia ficus-indica es una sustancia espesa y gomosa que proporciona la capacidad natural del cactus para almacenar

grandes cantidades de agua. Cuando está en el agua, el mucilago se hincha, produciendo propiedades únicas de actividad superficial que se ven en muchas encías naturales, lo que confiere al mucílago una capacidad sospechosa de precipitar partículas e iones de soluciones acuosas. El mucílago se extrae de las almohadillas del cactus. Los cladodios de nopal en dados se han utilizado durante siglos en América Latina como una tecnología primitiva para la rápida floculación de las turbias aguas de manantial natural, pero nunca se ha proporcionado una línea de base científica para este fenómeno observado.



Figura 3. Planta Opuntia Ficus – Cactus

Nota: Fotografía de la zona de del valle del Mantaro

2.2.2.2 *Origen y taxonomía de la tuna*

Las cuevas de Pachamachay es un lugar en el Perú donde se encontraron los primeros restos de semillas cercanos al lago Junín a

una altitud de 4200 msnm. La antigüedad de dichas semillas era aproximadamente de 11,800 años”.

Tabla 3. taxonomía de la tuna.

Reino	vegetal
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonea
Orden	Cayophyllales
Familia	Cactácea
Subfamilia	Opuntioideae
Género	Opuntia Nopalea
Tribu	Opuntiae
Especie	Ficus- indica

Nota: Elaboración Propia

2.2.2.3 Distribución

Esta planta tiene una distribución en América, siendo el país de México es que presenta una mayor abundancia de esta especie, esta especie puede estar distribuida en diversos ambientes desde costas del mar Hasta los más altos andes.

2.2.3 Definición de términos básicos

Adsorción: Es un concepto que se utiliza en el terreno de la física con referencia al proceso y el resultado de adsorber. Este verbo alude a la atracción y retención que realiza un cuerpo en su superficie de iones, átomos o moléculas que pertenecen a un cuerpo.

Agente: Cualquier entidad biológica, química o física que puede producir un efecto adverso.

Agente: Cualquier entidad biológica, química o física que puede producir un efecto adverso.

Degradación biológica: es un proceso cuyo desarrollo implica la pérdida de recursos naturales. La contaminación generada por el ser

humano, la sobreexplotación y el cambio climático son algunos de los motivos que pueden producir la degradación ambiental.

Cactus:

Dosis suministrada: Cantidad o concentración del agente químico que está presente en la superficie de contacto durante un período especificado y que se expresa por unidad de masa corporal del individuo expuesto.

Escorrentía superficial: Es la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida. Normalmente se considera como la precipitación menos la evapotranspiración real y la infiltración del sistema suelo.

Estación de muestreo: es un lugar específico cerca de o en un cuerpo receptor agua, en la cual se recoge la muestra. Su ubicación es fundamental para el éxito del programa de muestreo.

Impacto: efecto que genera la actividad humana sobre el medio ambiente.

Infiltración: Es la acción de introducir o infiltrar una sustancia líquida en el suelo, en los tejidos del cuerpo humano o en un objeto sólido.

Intercambio iónico: es un proceso de tratamiento de agua utilizado generalmente para el ablandamiento o desmineralización del agua, aunque también es utilizado para remover otras sustancias del agua en procesos tales como la desalcalinización, desionización, y desinfección.

Infiltración: aquel fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables tales como el hierro, la arcilla, las sales, el humus, que es ocasionado por el movimiento del agua en el suelo, por lo que se da mucho en climas húmedos.

Metales tóxicos: Término usado para los metales ferrosos y no ferrosos que tienen una densidad mayor que ~ 4 y propiedades que pueden ser peligrosas en el ambiente y la salud humana. Generalmente, el término incluye metales como el cobre, el níquel, el zinc, el cromo, el cadmio, el

mercurio, el plomo, el arsénico, y puede aplicarse al selenio y a otros. o.
Mineral: Compuesto inorgánico que sucede naturalmente en la corteza de la tierra con un conjunto distintivo de propiedades físicas y una composición química definida.

Minería: es una actividad económica del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos, También la minería es considerada como el conjunto de individuos que se dedican a esta actividad o el conjunto de minas de una nación o región.

Monitorear: Controlar el desarrollo de una acción o un suceso a través de uno o varios monitores.

Monitoreo: El término monitoreo podría definirse como la acción y efecto de monitorear. Pero otra posible acepción se utilizaría para describir a un proceso mediante el cual se reúne, observa, estudia y emplea información para luego poder realizar un seguimiento de un programa o hecho particular.

Neutralización: Reacción química entre un ácido y una base tal que se obtiene $\text{pH}=7$. En esencia se trata la combinación del ión H_3O^+ con el ión OH^- para dar agua. La reacción de neutralización es una de las más importantes del análisis volumétrico. **Nocivos:** Sustancias y preparaciones que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, pueden implicar riesgos a la salud de forma temporal o alérgica. Por ejemplo: Etanal, Diclorometano, Cloruro de potasio, etc. Precaución: debe ser evitado el contacto con el cuerpo humano, así como la inhalación de los vapores.

Oxidación: es el proceso y el resultado de oxidar. Este verbo refiere a generar óxido a partir de una reacción química. El óxido, por otra parte, es lo que se produce cuando el oxígeno se combina un metal o con los elementos conocidos como metaloides.

pH: Se trata de una unidad de medida de alcalinidad o acidez de una solución, más específicamente el pH mide la cantidad de iones H^+ de

hidrógeno que contiene una solución determinada, el significado de sus siglas son, potencial de hidrogeniones, el pH se ha convertido en una forma práctica de manejar cifras de alcalinidad, en lugar de otros métodos un poco más complicados.

Remoción: Quitar o sacar algo de su lugar, independientemente de que sea reemplazado o no por otro.

Restauración: El acto de reparar el daño a un lugar causado por la actividad humana, la industria o los desastres naturales. La restauración ambiental ideal es la recuperación del lugar lo más parecido posible a su condición natural antes de ser perturbada.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de investigación

La tesis pertenece al enfoque cuantitativo, puesto que las variables escogidas para la investigación representan cantidades numéricas para su evaluación de resultados en los objetivos y posibles hipótesis planteados.

3.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que pondremos en práctica los resultados obtenidos en la investigación, y mediante ello lograr solucionar el problema.

3.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación es experimental

3.4 Diseño de investigación

Para la presente investigación se utilizará el diseño experimental ya que manipularemos la variable independiente para ver los efectos sobre la variable dependiente.

3.5 Métodos de investigación

La presente investigación se desarrollará en la unidad minera, Sociedad Minera El Brocal, Cerro de Pasco, donde se utilizará el método de investigación científico puesto que obtendremos resultados claros, a través, de técnicas de observación y experimentación para alcanzar los objetivos planteados.

3.6 Población, muestreo y muestra

3.6.1 Población

La población en estudio son las aguas ácidas de la laguna Smelter.

3.6.2 Muestra

La muestra está representada por dos puntos de monitoreo en la laguna Smelter. En este trabajo se tomaron 2 muestras puntuales.

- **Unidad de análisis**

La unidad de análisis es la empresa minera El BROCAL, CERRO DE PASCO – PERÚ.

- **Tamaño de la muestra**

El tamaño de la muestra está integrado por las aguas residuales de la mina El BROCAL.

CAPÍTULO VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

4.1.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Tabla 4. Concentración inicial y final de los metales pesados

Parámetro	Unidad	Resultados	
		Muestra de agua sin tratamiento	Muestra de agua con tratamiento
pH		8.25	7.06
Aluminio	mg/L	1.966	1.72
Cobre	mg/L	0.3635	0.28
Hierro	mg/L	8.844	6.788
Plomo	mg/L	0.554	0.515
Zinc	mg/L	1.8563	1.5385

Nota: Elaboración Propia

4.1.1.1 Resultados del potencial de hidrógeno

Los resultados obtenidos del resultado del pH muestran que el efecto del mucílago de cactus más la fécula de patata funciona eficazmente consiguiendo un pH, en la Fig. 4 que el pH inicial es de 8,25 y obteniendo un pH final de 7,06.

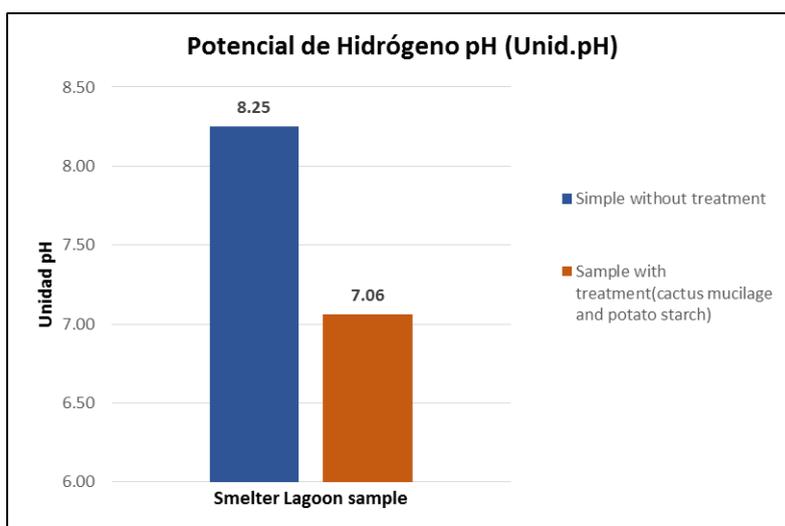


Figura 4. Variación del pH con la aplicación de mucilago y fécula de patata

Nota: Elaboración propia

4.1.1.2 Resultados de Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Los resultados obtenidos de la conductividad muestra que la aplicación del mucílago de cactus más la fécula de patata en el agua contaminada aumenta como se muestra en la Fig. 5 que la conductividad inicial es inicial es de 422 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y obteniendo una conductividad final de 1271 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

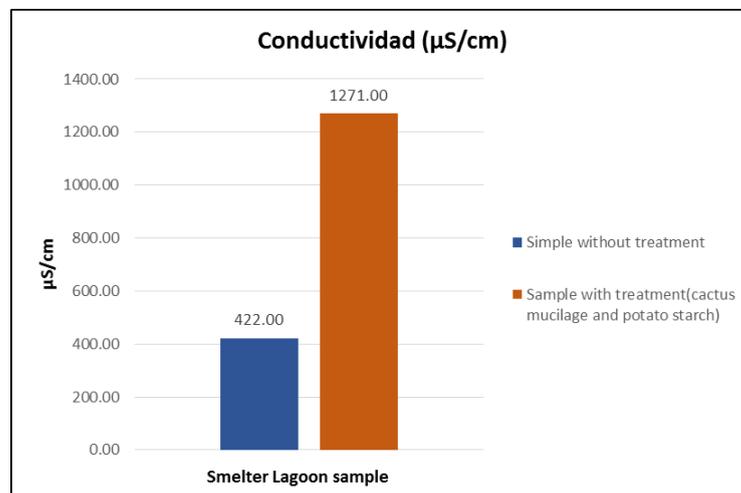


Figura 5. Variación de la conductividad con la aplicación de mucilago y fécula de patata.

Nota: Elaboración propia

4.1.1.3 Resultados de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Los resultados obtenidos de la temperatura muestran que la aplicación del mucílago de cactus más la fécula de patata en el agua contaminada aumenta como se muestra en la Fig. 6 siendo la temperatura inicial de 26.70 $^{\circ}\text{C}$ y la temperatura final de 27.50 $^{\circ}\text{C}$.

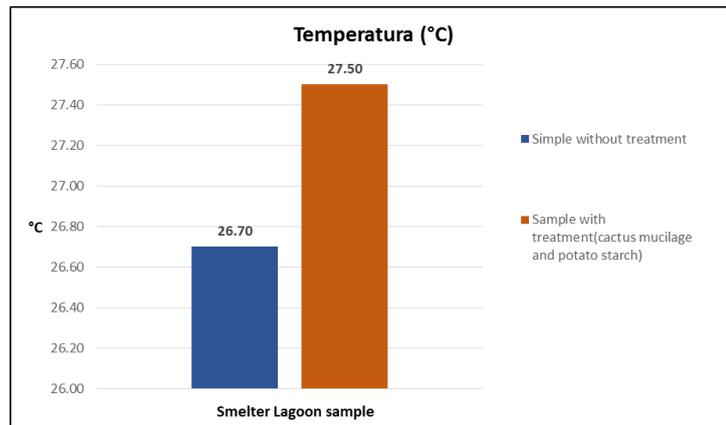


Figura 6. Variación de la temperatura con la aplicación de mucilago y fécula de patata.

Nota: Elaboración propia

4.1.1.4 Resultados de Turbidez (NTU)

Los resultados obtenidos de la turbidez muestran que la aplicación del mucílago de cactus más la fécula de patata en el agua contaminada disminuyen, tal como se muestra en la Fig. 7 siendo la turbidez inicial de 320 NTU y la turbidez final es de 145 NTU.

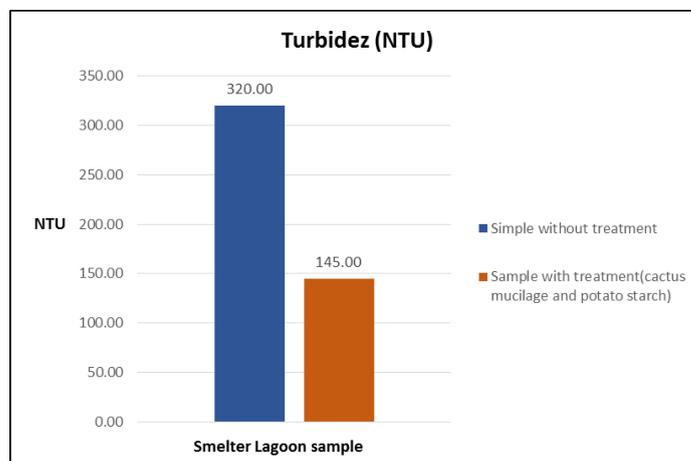


Figura 7. Variación de la turbidez con la aplicación de mucilago y fécula de patata.

Nota: Elaboración propia

4.1.1.5 Resultados de la eliminación de metales

Los resultados de las concentraciones iniciales de metales se detallan en la Tabla IV

Tabla 5. Concentración inicial de los metales pesados

Disolución	Unid.	Resultados
Aluminio	mg/L	1.966
Cobre	mg/L	0.3635
Hierro	mg/L	8.844
Plomo	mg/L	0.554
Zinc	mg/L	1.8563

Nota: Elaboración Propia

a. Aluminio

Como se muestra en la Fig. 8, el aluminio fue removido exitosamente de 1.966 mg/L a 1.72 mg/L. El mucílago de nopal junto con el almidón de papa actúa neutralizando el pH provocando la adsorción de este mineral.

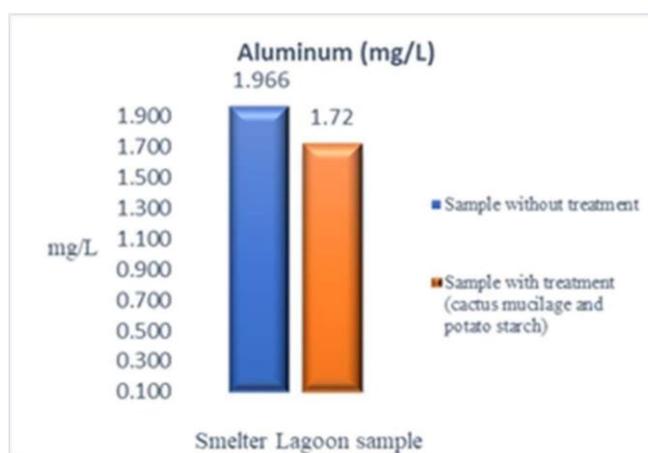


Figura 8. Eliminación de Aluminio

Nota: Elaboración propia

b. Cobre

En este metal, los resultados muestran que fue posible remover de 0.364mg/L a 0.28mg/L (Fig. 9). El mucílago de nopal junto con el almidón de papa actúa neutralizando el pH, provocando la adsorción del cobre.

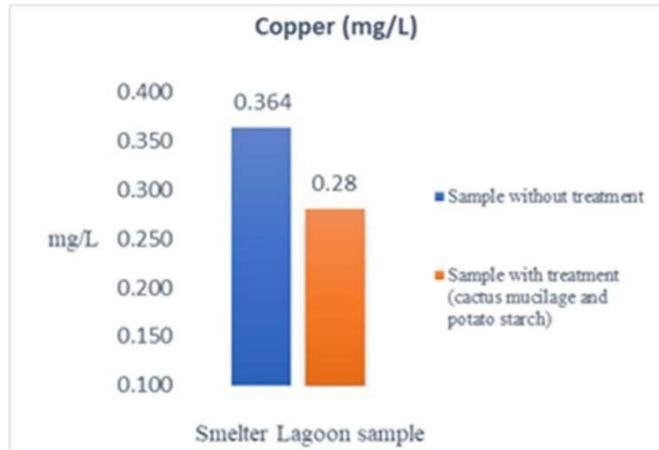


Figura 9. Eliminación de cobre.

Nota: Elaboración propia

c. Hierro

Los ensayos experimentados para el hierro parten de una cifra inicial de 8,844 mg/L y 6.788 mg/L final (Fig. 10) y aplican mucílago de cactus junto con fécula de patata. La eliminación de este metal se basa en la precipitación de hidróxidos producidos por neutralización del pH.

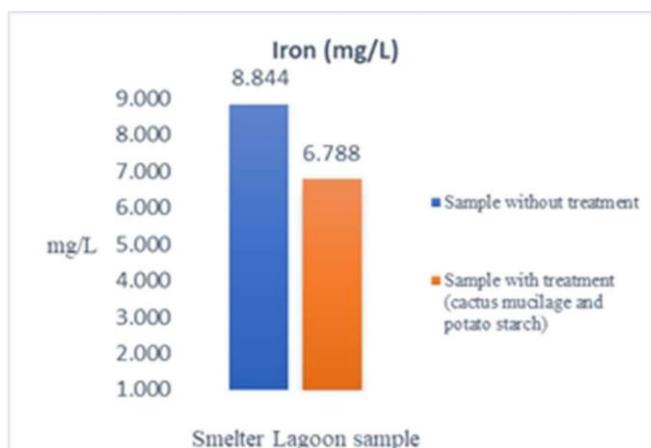


Figura 10. Eliminación del hierro

Nota: Elaboración propia

d. Plomo

La Fig. 11 muestra los resultados de la concentración de Pb, según los resultados del laboratorio ALAB, se obtuvieron los siguientes resultados: 0.554mg/L inicial y 0.515mg/L final.

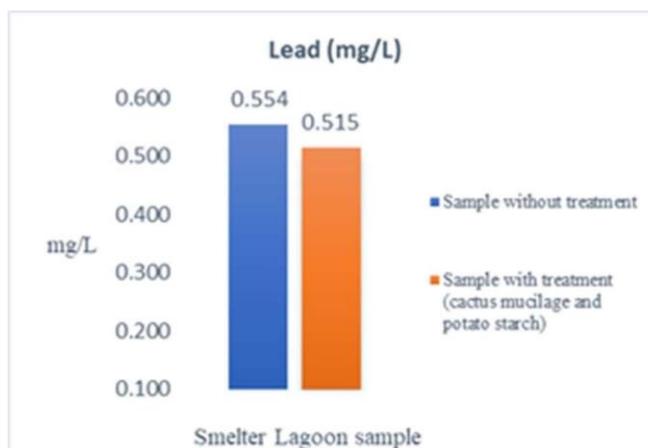


Figura 11. Extracción del plomo.

Nota: Elaboración propia

e.

Zinc

Como se muestra en la Fig. 12, el Zinc fue removido exitosamente de 1.856mg/L a 1.5385mg/L. El mucílago de nopal junto con el almidón de papa actúa neutralizando el pH

provocando la adsorción de este mineral.

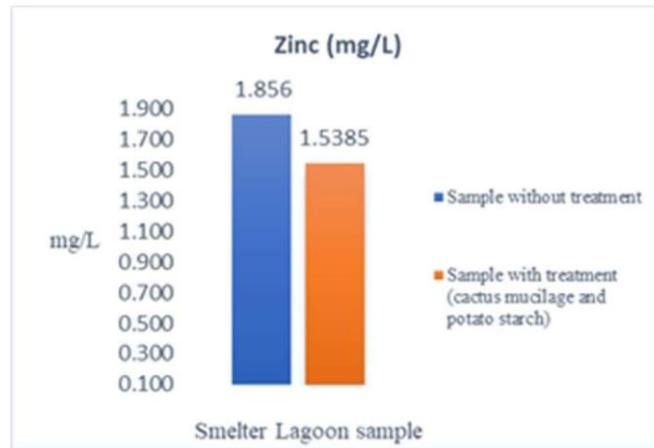


Figura 12. Eliminación del zinc.

Nota: Elaboración propia

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación se planteó como objetivo fundamental el determinar la eficiencia del uso del mucílago de cactus para remover metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco. Los resultados adquiridos muestran que la aplicación combinada de mucílago de cactus y fécula de patata efectivamente reduce las concentraciones de metales pesados como el aluminio, cobre, hierro, plomo y zinc presentes inicialmente en el agua de la laguna. Estos hallazgos confirman lo señalado (10) concluye que el mucílago de tuna es un polímero natural efectivo para reducir la toxicidad de aguas ácidas de minas mediante la remoción de metales como cobre, hierro, plomo y zinc. Similarmente, demostraron que el mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) actuó eficazmente como coagulante natural para eliminar turbidez en aguas contaminadas. (5)

En el presente estudio, la mayor reducción porcentual se logró para el aluminio (12.5%), seguido del cobre con 22.9%. Esto se explica porque el mecanismo principal de remoción fue la neutralización del pH provocada por la mezcla de mucílago y fécula, lo que promueve la adsorción de los iones metálicos

En resumen, el uso de recursos naturales y renovables como el mucílago de cactus representa una alternativa viable, ecológica y económica para el tratamiento de aguas con presencia de contaminantes tales como metales pesados provenientes de la

actividad minera. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para optimizar las dosis y mejorar los porcentajes de remoción. **(18)**

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia del mucílago de cactus para remover metales pesados en aguas ácidas en la mina de la laguna “Smelter” de Cerro de Pasco. Los principales resultados y conclusiones son:

La aplicación combinada de mucílago de cactus y fécula de papa redujo efectivamente los niveles de aluminio, cobre, hierro, plomo y zinc presentes inicialmente en las muestras de agua, demostrando su efectividad como tratamiento natural para aguas contaminadas con metales.

Las mayores reducciones porcentuales se lograron para el aluminio (12.5%) y el cobre (22.9%). El mecanismo principal fue la neutralización del pH generada por la mezcla de mucílago y fécula, favoreciendo la adsorción de los metales.

El uso del mucílago de cactus representa una alternativa natural, económica y ecológica para el tratamiento de aguas con presencia de metales provenientes de actividades mineras, si bien la investigación demuestra la efectividad del mucílago de cactus para remover metales pesados, los porcentajes de reducción son aún moderados, por lo que es necesario optimizar las dosis y condiciones de aplicación para mejorar su capacidad de remoción.

En síntesis, el mucílago de cactus tiene potencial para ser usado como parte de tratamientos naturales y económicos para la descontaminación de aguas con presencia de metales pesados. Se recomienda continuar las investigaciones para aumentar su eficiencia.

La influencia del mucilago de cactus muestra una remoción con respecto a metales pesados como son: Aluminio, Arsénico, Cadmio y Cobre cumpliendo con lo establecido por el ECA para agua de Categoría 3.

Así mismo se ha demostrado que el mucílago de cactus influye más de un 50 % en la remoción de la turbidez, así también.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar experimentos a nivel piloto en campo y con volúmenes mayores de muestra, así como modelaciones, para evaluar el desempeño real del

mucílago de cactus en las condiciones particulares de la laguna Smelter. Esto permitiría determinar las dosis óptimas y hacer los ajustes necesarios ante posibles variaciones en los niveles de contaminación.

Es necesario analizar aspectos operativos relevantes como la forma de aplicación y mezcla del mucílago, tiempo de retención, sistema de separación de lodos, requerimientos de espacio y mano de obra, que podrían incidir en la viabilidad del tratamiento a escala real. Habría que investigar el uso combinado con otros adsorbentes naturales o determinar formas de modificar y mejorar las propiedades coagulantes del mucílago para incrementar su capacidad de remoción de metales, dado que los porcentajes obtenidos son aún moderados.

No se explicita el posible impacto ambiental de la disposición de los lodos generados con las concentraciones de metales removidos, lo cual requeriría un plan de gestión específico. Si bien los resultados iniciales son prometedores, es necesario investigar más a fondo la aplicabilidad real de esta alternativa considerando escalamiento, aspectos operativos, mejora de la eficiencia y manejo de residuos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. CHÁVEZ VALLARINO, César.** Detección de metales pesados en agua. Tesis (Maestría en Ciencias en la especialidad de Electrónica). Puebla: Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica, 2011. Pág. 1.
- 2. CALENDARIO MONDRAGON, Jacobo.** Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal. Chile. Revista Icarda [online]. 25 de febrero de 2018, Vol. 1.
- 3. NOBEL, P. , CAVELIER, J.y ANDRADE, J.** Mucilage in Cacti: Its Apoplastic Capacitance, Associated Solutes, and Influence on Tissue Water Relations. Journal of Experimental Botany (online). 12 de diciembre de 1992, 43(250), 641 - 648.
- 4. CHOQUEHUANCA LUQUE, Luz Clarita.** Evaluación de penca de tuna como aditivo natural para remoción de la turbidez del agua del río San Gabán, Puno. Tesis (Título Profesional de Ingeniera Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2022. Pág. 8.
- 5. ACEVEDO MATAMOROS, Yanet y HUAMAN CUNYA, Helard.** Eficiencia del coagulante de mucílago de nopal (*Opuntia ficus - indica*) en la remoción de la turbidez del río Ichu - Huancavelica - 2019. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2021. Pág. 17.
- 6. CARHUAS ROJAS, Keimy Gianina.** Aplicación del mucílago de nopal en la remoción de turbidez en aguas contaminadas del río Chilca por efluentes domésticos en la provincia de Huancayo 2020. Tesis (Título Profesional de Ingeniera Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2023. Pág. 24.
- 7. BERROSPI ALANIA, Liz Yannela.** Remoción de metales pesados presentes en las aguas ácidas de la laguna Yanamate mediante la aplicación de la dolomita como agente remediante a escala experimental-2019. Tesis (Título profesional de Ingeniería Ambiental). Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019. Pág. 2.
- 8. GONZÁLES HUAMÁN, Maicol y RIVERA VARGAS, Nadia.** Efecto de la dosis y tiempo de floculación en la remoción de partículas coloidales utilizando el coagulante *Opuntia ficus - indica* como ayudante en el proceso de potabilización de agua

Huancavelicana - 2019. Tesis (Título profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitario). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2021. Pág. 17.

9. PADILLA ARÉVALO, Oswaldo y ZÁRATE MORÁN, Jair. Determinación de las características coagulantes del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y de la tuna (*Opuntia ficus-indica*) para remoción de turbidez en el proceso de tratamiento de aguas superficiales. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Químico). Huayaquil: Universidad de Huayaquil, 2020. Pág. 20.

10. REYES CALDERON, Elvis Valeriano. Aplicación de polímeros naturales en el tratamiento de aguas ácidas de minas. Tesis (Título profesional de Ingeniería Metalúrgica). Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2019. Pág. 1.

11. CUADROS PULIDO, Leidy Mayerlin. Evaluación de la Remoción de la Turbidez del Agua del Rio Fucha por Medio del Fruto de la Planta Arbustiva Cactus (*Opuntia ficus indica*) como Coagulante Natural. Tesis (Título profesional de Ingeniería Ambiental). Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2020. Pág. 13.

12. BERMÚDEZ URIBE, Luis Fernando. Evaluación de la eficiencia del mucílago del tallo de pitaya como coagulante natural para el tratamiento de agua cruda. Tesis (Título profesional de Ingeniería Civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2022. Pág. 4.

13. BOFILL-MAS, Sílvia et al. Efectos sobre la salud de la contaminación de agua y alimentos por virus emergentes humanos. Rev. Esp. Salud Publica [online]. 2005, vol.79, n.2 [citado 2024-02-07], pp.253-269. Disponible en: <http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200012&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2173-9110.

14. MOLINA MONTOYA, Nancy, AGUILAR CASAS, Patricia, y CORDOVEZ WANDURRAGA, Clemencia. Plomo, Cromo III y Cromo VI y sus efectos sobre la salud humana, Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular . 2010, Vol. 8, N° 1 / pp. 77-88, Lima. Morales Cabrera U., Avendaño

15. NAYHUA GAMARRA L. Vigilancia Epidemiológica de Metales pesados. Semana Epidemiológica N° 52 – 2016, (A1 31/12/2016), Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-MINSA, Lima-Perú.

16. VERA JUAREZ . La Bio guía; <http://www.labioguia.com/notas/como-afectan-los-metales-pesados-a-la-salud-y-como-eliminar-sus-efectos>

17. CODEX STAN. Norma general del codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. 1995.

18. TORRES CONTRERAS, Saul. Evaluación del desempeño sismorresistente de la I.E. Mariano Melgar - pabellón “A” usando el análisis estático no lineal - Lima 2017. Tesis (Título profesional de Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo, 2017. Pág. 11.

ANEXOS

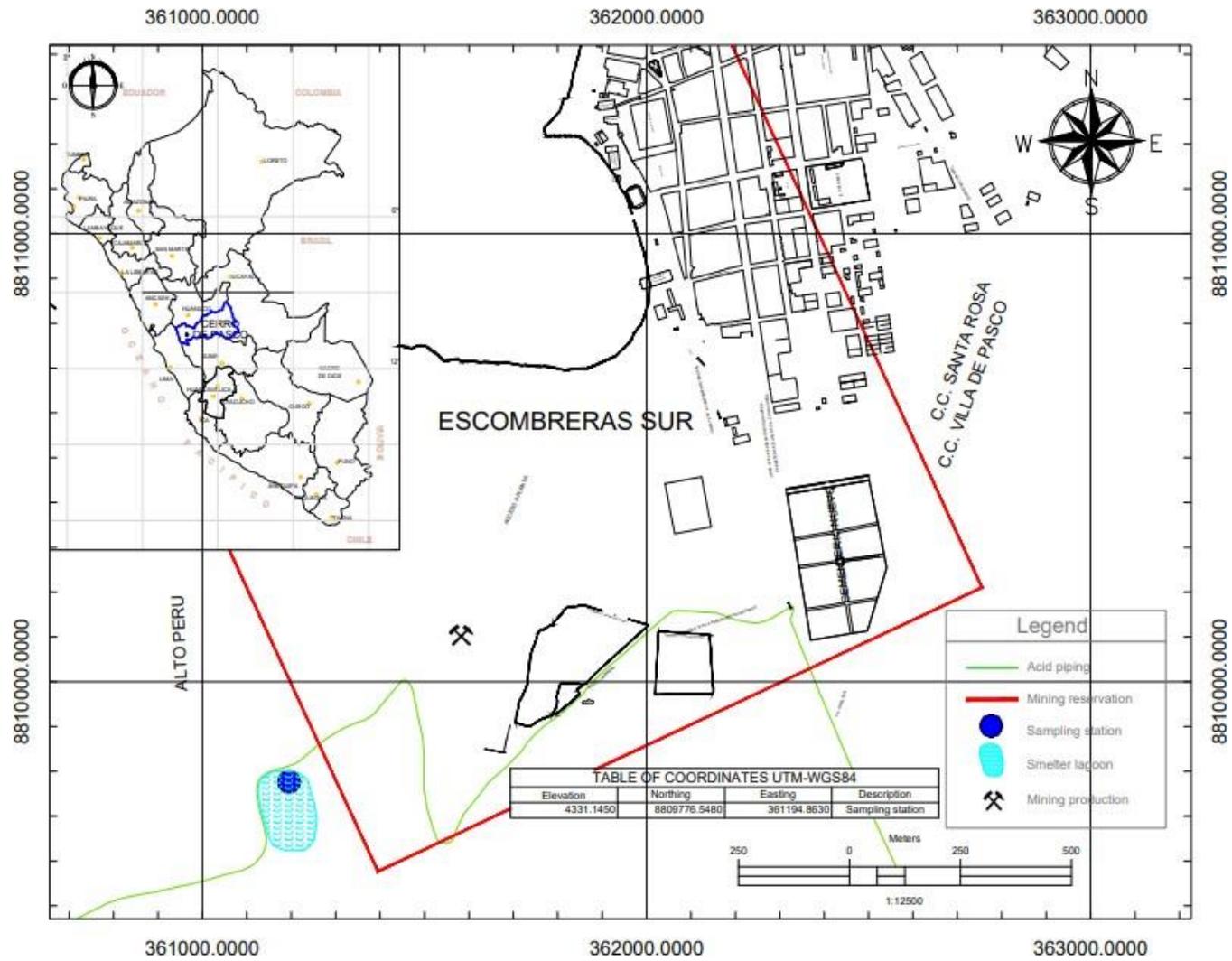
Anexo 1: Matriz de Consistencia

Título: REMOCIÓN DE METALES PESADOS UTILIZANDO MUCÍLAGO DE CACTUS EN LA LAGUNA SMELTER DE CERRO DE PASCO, PERÚ-2023”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
¿En qué medida la aplicación del mucílago de cactus removerá los metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023?	Determinar la eficiencia de la aplicación del mucílago de cactus removerá los metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023	La aplicación del mucílago de cactus remueve eficientemente los metales pesados en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023	Variable 1 REMOCIÓN DE METALES PESADOS Dimensiones: Temperatura pH Turbidez Metales pesados % de remoción	TIPO ▪ Investigación Aplicada NIVEL: ▪ Investigación Explicativa DISEÑO: ▪ Diseño Experimental
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPOTESIS ESPECÍFICAS	Variable 2 MUCÍLAGO DE CACTUS Dimensiones: coagulante floculante biodegradable biosorbente	POBLACIÓN Aguas ácidas de la laguna Smelter. MUESTRA Dos puntos de monitoreo en la laguna Smelter. En este trabajo se tomaron 2 muestras puntuales.
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuál es la reducción porcentual de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas de la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023? ¿Cuál es el porcentaje de reducción de turbidez que se obtendrá aplicando el 	<ul style="list-style-type: none"> Determinar el porcentaje de reducción de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas de la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023. Determinar el porcentaje de reducción de turbidez que se obtendrá aplicando el 	<ul style="list-style-type: none"> Se removió en más del 50% de las concentraciones de metales pesados presentes en las aguas de la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023. Se redujo la turbidez aplicando el mucílago de cactus en la laguna Smelter 		

<p>mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023?</p>	<p>mucílago de cactus en la laguna Smelter de Cerro de Pasco, Perú – 2023.</p>	<p>de Cerro de Pasco, Perú – 2023.</p>		<p>MÉTODO GENERAL:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Método Científico <p>TÉCNICA:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Observación <p>INSTRUMENTO:</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Ficha de observación
--	--	--	--	---

Anexo 2: Mapa del área de estudio de la Laguna Smelter.



Anexo 3: Laguna Smelter



Anexo 4: Recojo de muestra para realizar el análisis



Anexo 5: Obtención de la muestra de agua



Anexo 6: Medición de los parámetros físicos - químicos



Anexo 7: Informe de Ensayo del Laboratorio ALAB



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-21923

N° ID.: 0000065600

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: EDISON QUISPE CCANTO
2.-DIRECCIÓN	: Jr. MOQUEGUA 330, HUANCAYO
3.-PROYECTO	: REMOCION DE METALES PESADOS PROVENIENTES DE RELAVES MINEROS DE LA LAGUNA SMELTER USANDO MUCILAGO DE OPUNTIA FICUS Y ALMIDON DE PAPA - CERRO DE PASCO, PERU
4.-PROCEDENCIA	: COLQUIRCA - CERRO DE PASCO
5.-SOLICITANTE	: EDISON QUISPE CCANTO
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 000006203-2022-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREADO POR	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2022-12-12

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Residual
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2022-12-01
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2022-12-01 al 2022-12-12

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL

Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA

Prolongación Zarumilla Mz
D2, L13 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:

Mz. E Lt.9 COOP SIOSUR
P (+073) 616845
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:

Calle Los Ebanos Mz G Lt 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.1 de 4

Anexo 8: Informe de Ensayo del Laboratorio ALAB



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-21923

N° Id.: 0000065800

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Conductividad ^{(1) (2)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B 23rd Ed. 2017	Conductivity, Laboratory Methods
pH ^{(1) (2)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017	pH Value Electrode Method
Temperatura ^{(1) (2)}	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 23rd Ed. 2017	Temperature, Laboratory and Field Methods
Turbidez ⁽¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B 23rd Ed. 2017	Turbidity, Nephelometric Method
Metales Totales (CPOES) ⁽¹⁾	EPA METHOD 200.7 Rev.4.4., 1994 / VALIDATED (Applied out of reach), 2018.	Dissolved Metals: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Cd, Ce, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sb, Se, SiO ₂ , Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn, Hg. Validated: U, Bi. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

⁽¹⁾EPA[®] : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

⁽²⁾SMEWW[®] : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

⁽¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

⁽²⁾ Ensayo realizado en campo (medido in situ)

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt 9 COOP SIDOR
P (+075) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G Lt 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.2 de 4

Anexo 9: Informe de Ensayo del Laboratorio ALAB



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-21923

N° Id.: 0002085600

IV. RESULTADOS

ITEM	1		2		
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-71256		M-22-71257		
CÓDIGO DEL CLIENTE:	ARST-01		ARCT-01		
COORDENADAS:	E:0361194		E:0361194		
UTM WGS 84:	N:8809776		N:8809776		
PRODUCTO:	Agua Residual		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial		Agua Residual Industrial		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	ICPE-1.5 MUESTREO DE AGUA RESIDUAL				
FECHA y HORA DE MUESTREO:	30-11-2022 11:27		30-11-2022 12:04		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Conductividad (*)	µS/cm	NA.	0,01	422,00	1.271,00
pH (*)	Unidad de pH	NA.	0,01	8,25	7,06
Temperatura (*)	(°C)	NA.	0,1	26,7	27,5
Turbidez (*)	NTU	NA.	0,01	320,00	145,00
Metales Totales ICPOES					
Aluminio (*)	mg/L	0,005	0,020	1,720	1,966
Antimonio (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002
Arsénico (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,002	<0,002
Bario (*)	mg/L	0,0002	0,0010	0,1126	0,1377
Berilio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003
Bismuto (*)	mg/L	0,009	0,030	<0,009	<0,009
Boro (*)	mg/L	0,002	0,006	0,095	0,095
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0001	<0,0001
Calcio (*)	mg/L	0,002	0,006	77,615	107,339
Cerio (*)	mg/L	0,02	0,07	<0,02	<0,02
Cobalto (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,002	<0,002
Cobre (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,2800	0,3635
Cromo (*)	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0002	<0,0002
Estadío (*)	mg/L	0,001	0,003	<0,001	<0,001
Estroncio (*)	mg/L	0,00004	0,00010	0,42043	0,48112
Fósforo (*)	mg/L	0,01	0,04	<0,01	9,56
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,004	6,788	8,844

□ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "*" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "*" Menor que el L.D.M.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+075) 616845
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G Lt 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.3 de 4

Anexo 10: Informe de Ensayo del Laboratorio ALAB



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-21923

N° Id.: 000005500

ITEM	1		2		
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-22-71256		M-22-71257		
CÓDIGO DEL CLIENTE	ARST-01		ARCT-01		
COORDENADAS	E-0361194		E-0361194		
UTM WCS 84	N-8903776		N-8903776		
PRODUCTO	Agua Residual		Agua Residual		
SUB PRODUCTO	Agua Residual Industrial		Agua Residual Industrial		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO	I-CPE-1.5 MUESTREO DE AGUA RESIDUAL				
FECHA y HORA DE MUESTREO	30-11-2022 11:27		30-11-2022 12:04		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Litro (*)	mpL	0,0003	0,0009	<0,0003	<0,0003
Magnesio (*)	mpL	0,005	0,020	22,216	38,666
Manganeso (*)	mpL	0,0001	0,0002	2,1902	2,8714
Mercurio (*)	mpL	0,0001	0,0002	<0,0001	<0,0001
Molibdeno (*)	mpL	0,0006	0,0020	<0,0006	<0,0006
Níquel (*)	mpL	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003
Plata (*)	mpL	0,002	0,007	<0,002	<0,002
Plomo (*)	mpL	0,002	0,006	0,515	0,554
Potasio (*)	mpL	0,04	0,16	6,33	173,96
Selenio (*)	mpL	0,001	0,005	<0,001	<0,001
Sodio (*)	mpL	0,004	0,010	6,168	11,156
Silicio (*)	mpL	0,001	0,004	7,247	9,602
Taño (*)	mpL	0,0003	0,0010	<0,0003	<0,0003
Titanio (*)	mpL	0,0007	0,0020	<0,0007	<0,0007
Uranio (*)	mpL	0,005	0,020	<0,005	<0,005
Vanadio (*)	mpL	0,0002	0,0007	<0,0002	<0,0002
Zinc (*)	mpL	0,0001	0,0004	1,3365	1,8563

Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método. "*" Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método. "*" Menor que el L.D.M.

"FIN DE DOCUMENTO"

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Calleo P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3, Bellavista, Calleo
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616845
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G Lt 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 333
www.alab.com.pe

Pág.4 de 4

