

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

**“EFICIENCIA DEL CARBÓN ACTIVADO
VEGETAL PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUAS CONTAMINADAS POR METALES
PESADOS EN UN EFLUENTE INDUSTRIAL
PARA LA ACTIVIDAD MINERA REALIZADA
EN PULAN, SANTA CRUZ, CAJAMARCA, 2024”**

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Jheny Estefany Cabanillas Melendez

Yessica Yanira Espinal Mendoza

Asesor:

Mg. Maryuri Vega Eras

0000-0001-5190-0146

Lima - Perú

2024

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Haniel Josue Torres Joaquin
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	Janet Edith Gonzales Valdivia
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	Maryuri Yohana Vega Eras
	Nombre y Apellidos

Informe de Similitud



Página 2 of 67 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1.3092526272




17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

Este estudio está dedicado a Dios, por guiarnos con Su infinita sabiduría, por darnos fortaleza y por sostenernos en cada paso del camino. Gracias a Su presencia constante en nuestras vidas, hoy alcanzamos uno de nuestros más grandes anhelos. Sin Él, este logro no habría sido posible.

A nuestros padres, por su amor incondicional, sus sacrificios, su apoyo constante y por ser ejemplo de perseverancia, entrega, esfuerzo y valentía, que nos fueron de motivación e inspiración, para poder llegar hasta aquí. Este logro también es suyo.

A nuestros hermanos y familiares cercanos, gracias por su compañía constante, sus palabras de aliento en cada etapa de este camino. Su cariño, su fe en nosotros incluso en los momentos más difíciles, y su apoyo incondicional han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Agradecimiento

Agradecemos infinitamente a nuestro Dios por bendecirnos día a día con el milagro de la vida, por encaminarnos hasta este momento y darnos fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Expresamos nuestra infinita gratitud a nuestros padres, por ser nuestros principales alentadores en esta meta trazada, por brindarnos su confianza, sus consejos, valores y principios que nos inculcaron siempre.

Agradecemos a nuestros instructores de la Universidad Privada del Norte por compartir su experiencia con nosotros durante nuestro desarrollo profesional. En particular, agradecemos a nuestras asesoras del proyecto de investigación, la ingeniera Marieta Eliana Cervantes Peralta y la ingeniera Gladys Sandi Licapa Redolfo, quien nos ha guiado con su paciencia y sus enseñanzas morales.

Tabla de contenidos

JURADO EVALUADOR	2
Informe de Similitud.....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Índice de tablas	7
Índice de Figuras	8
Resumen	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	20
CAPÍTULO III: RESULTADOS	31
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	47
REFERENCIAS	52
ANEXOS.....	59

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Tratamientos de la investigación</i>	25
Tabla 2 <i>Concentración inicial y final de efluente de unidad minera</i>	31
Tabla 3 <i>Concentración inicial y final de conductividad eléctrica e unidad minera en el tratamiento 1, 2 y 3</i>	31
Tabla 4 <i>Prueba de normalidad para los metales</i>	35
Tabla 5 <i>Prueba de Kruskal - Wallis para la cantidad de aluminio</i>	36
Tabla 6 <i>Prueba de Kruskal - Wallis para la cantidad de cobre</i>	37
Tabla 7 <i>Prueba de ANOVA para la cantidad de hierro</i>	39
Tabla 8 <i>Prueba de homogeneidad de varianzas para el hierro</i>	39
Tabla 9 <i>Prueba de ANOVA para la cantidad de manganeso</i>	41
Tabla 10 <i>Prueba de homogeneidad de varianzas para la cantidad de manganeso</i>	41
Tabla 11 <i>Prueba ANOVA para la cantidad de sodio</i>	43
Tabla 12 <i>Prueba de homogeneidad de varianzas para la cantidad de sodio</i>	43
Tabla 13 <i>Prueba de Kruskal - Wallis para la cantidad de zinc</i>	44
Tabla 14 <i>Pruebas post hoc para la remoción de metales pesados</i>	45

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Modelado matemático</i>	21
Figura 2 <i>Área de estudio</i>	22
Figura 3 <i>Diagrama del proceso metodológico</i>	27
Figura 4 <i>Ecuación de capacidad de adsorción</i>	28
Figura 5 <i>Resultado del Análisis de laboratorio del % de remoción de metales pesados</i>	33
Figura 6 <i>Porcentaje de remoción de aluminio (Al) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal</i>	34
Figura 7 <i>Porcentaje de remoción de cobre (Cu) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal</i>	36
Figura 8 <i>Porcentaje de remoción de hierro (Fe) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal</i>	38
Figura 9 <i>Porcentaje de remoción de manganeso (Mn) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal</i>	40
Figura 10 <i>Porcentaje de remoción de sodio (Na) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal</i>	42
Figura 11 <i>Porcentaje de remoción de zinc (Zn) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal</i>	44

Resumen

Este estudio tiene por objeto evaluar la eficiencia del carbón activado vegetal en la remoción de metales considerados pesados de los efluentes provenientes de la unidad minera. En el presente estudio se considera como parte de materiales y métodos, al tipo aplicado, enfoque cuantitativo, con una muestra conformada por 4 litros de agua industrial de la unidad minera. Se realizaron 6 tratamientos con carbón activo obtenido mediante el proceso químico utilizando ácido fosfórico y físico con temperatura de 400°C aplicados a la corteza del pino. Los resultados demostraron una eficiencia mayor al 90% en todos los tratamientos de remoción de Al, Cu, Fe, Zn y menos del 50% de eficiencia en la remoción de Mn y Na, la dosis con mayor predominancia fue la de un 1 gr, en el segundo y cuarto tratamiento (T2 y T4), lograron disminuir más del 99% de Al, Cu y Fe; que el carbón activo vegetal a partir de corteza de pino presentó una alta viabilidad técnica. Finalmente se concluye indicando que el uso de carbón activo vegetal a base de corteza de pino es una alternativa altamente eficiente para la remisión de metales pesados presentes en los efluentes de la unidad minera.

Palabras Claves

Carbón activo, corteza de pino, remoción, metales pesados, efluente minero.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El tratamiento de las aguas residuales se está convirtiendo en un componente fundamental para salvaguardar el medio ambiente y la salud pública, especialmente en la industria minera (Carlos et al., 2024). Los efluentes mineros, en particular, incluyen altas concentraciones de metales pesados, que podrían poner en grave peligro los hábitats acuáticos y la biodiversidad marina. Es imperativo implantar una tecnología eficaz para eliminar estos contaminantes (Arizaca et al., 2024).

Los medios filtrantes son esenciales para el tratamiento del agua porque sirven de barreras químicas y físicas que extraen las impurezas del agua y las retienen (Orgás, 2023). Hay muchos tipos de materiales, y cada uno tiene cualidades únicas que lo hacen idóneo para un uso concreto. Por su excepcional capacidad para absorber moléculas orgánicas y metales pesados, los sistemas de filtración a base de carbón activado constituyen una opción práctica para el tratamiento de efluentes mineros y otras fuentes de contaminación (Zambrano, 2023).

El carbón activado es un material poroso que puede estar hecho de madera, carbón vegetal u otros componentes orgánicos. Su gran superficie y su composición porosa le permiten absorber eficazmente diversos contaminantes (Alvarez & Lopez, 2023).

Según una Colección de Estudios Ambientales, el uso de carbón activado puede reducir en un 98.40% las concentraciones de metales pesados en los efluentes mineros, mayor porcentaje que la zeolita con un 98.18%. Este resultado pone de relieve la utilidad del carbón activado como instrumento clave en la regulación de la contaminación de las aguas llamadas residuales (Huaranccay et al., 2024).

Además, un informe publicado por la Cooperación Suiza, las masas de agua contaminadas superan los LMP respecto a arsénico y hierro, con porcentajes que superan el 300% en contraste al estándar (Cooperación Suiza, 2023). Esta circunstancia pone de relieve la urgencia de implantar tecnologías de tratamiento eficaces como el carbón activado que sean asequibles y sostenibles.

En este sentido, la investigación y la creación de nuevas tecnologías han permitido avanzar en el uso del carbón activado para el tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, se están investigando técnicas para mejorar la capacidad para lograr la adsorción específica del carbón activado para determinados metales pesados.

Por otro lado, los efluentes industriales de minera son una fuente importante de contaminación ambiental, por lo que representa debido a que pueden contener sustancias tóxicas, como metales pesados y sustancias químicas utilizadas en los procesos mineros, asimismo partículas en suspensión, como sedimentos y arcillas (Zahoor et al., 2022).

De esta manera, los relaves mineros y las minas abandonadas afectan los recursos hídricos debido al drenaje ácido de mina (AMD) producido por la oxidación acelerada y la meteorización de depósitos de minerales ricos en sulfuro y desechos minero, lo cual genera consecuencias como el deterioro del medio ambiente con la contaminación de fuentes hídricas debido a la producción de efluentes ácidos que las cantidades elevadas de metales considerados pesados son desfavorables para la naturaleza y la salud humana. (Ruppen et al., 2021).

Para el caso del territorio peruano se percibe las activadas operarias de 150 empresas mineras que generan alrededor de 900 Mton de residuos mineros de forma anual, incluidos efluentes y relaves, lo cual manifiesta una elevada manufactura minera

acorde a la categorización de segundo país productor mundial de cobre y plata, tercero en la producción de zinc; y cuarto en plomo, molibdeno y estaño (MINEM, 2021).

En este sentido, las tecnologías de manejo de desechos existentes aún no son lo suficientemente eficientes y/o requieren grandes desembolsos financieros, por lo tanto, estas aguas residuales sólidas de flotación o lodos se depositan con mayor frecuencia en la mina o cerca de ella, por lo que existe una necesidad apremiante de desarrollar y aplicar soluciones que no solo sean respetuosas con el medio ambiente y eficientes, sino también económicamente viable (Retka et al., 2020).

Cajamarca una región minera, ubicada al norte del Perú, presenta numerosas cabeceras de cuencas que son de gran importancia para las minerías, que a pesar de los años sigue aumentando la extracción de minerales, contaminando los ríos tal es el caso del río Tingo, en donde la influencia minera ha dado consecuencia de tener las peores calidades de agua generando un impacto ambiental, los parámetros más influenciados fueron la conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y plomo (Núñez et al., 2021) y (Saucedo, 2021).

La región de Cajamarca se caracteriza por tener 3 espacios económicos: por el norte dedicados a la agricultura, centro la agricultura y pecuaria y por el sur la minería, se estimándose que cerca de 1500 familias se encuentran involucrados a la minería ilegal de los cuales generan un impacto ambiental al aire, suelos y agua, debido a los grandes movimientos de tierras (Baretta et al., 2023).

Una empresa que extrae oro es la unidad minera investigada y plata, cuya extracción de minerales es a tajo abierto, pudiendo contaminar el agua de las cabeceras de cuencas, debido a que se produjo la muerte de 5 mil truchas por altas concentraciones

de plomo (Valencia, 2020), debido a esta problemática que genera la contaminación de las aguas, se propone reducir los metales pesados de los efluentes de la unidad minera.

Bajo ese contexto, con la finalidad de brindar mayor sustento el presente estudio realizó una búsqueda de investigación nacional e internacional asociada, que se describen detalladamente a continuación:

A nivel internacional Guijarro (2022), utilizó ensayos por lotes con efecto de matriz para determinar la cinética de adsorción en relación a la turba, la piedra clasificada como caliza y además el carbón activado como adsorbentes de metales pesados divalentes. La metodología consistió en un estudio experimental, tipo aplicada, agregaron 10 g del elemento denominado adsorbente a un volumen de 500 ml de solución que se encuentra enriquecida con una proporción de metales a 150 rpm y 60 minutos, 10 veces el límite de tolerancia de TULSMA. Los resultados mostraron que tanto la turba y también el carbón activado son los adecuados adsorbentes con una eliminación >80 % para la mayoría de los metales. Concluyó que el carbón activado, piedra caliza y turba es el medio más práctico, económico y sostenible para el tratamiento de medios contaminados con metales pesados.

Adetoro y Ojawa (2020), en su artículo plantearon como objetivo estudiar la optimización de la biosorción de elementos tóxicos de las aguas de minería con adsorbentes de corteza de *Azadirachta*. La metodología fue experimental, se llevó a cabo utilizando valores óptimos de 1,999 g de dosis, velocidad referente a la agitación con un valor de 149,73 rpm, tiempo de contacto de 119,55 min, tamaño de partícula de 2 mm, pH de 7 y temperatura de 30 °C, asimismo dosis de 3.993 g, velocidad referente a la agitación con un valor de 150 rpm, así como un tiempo de contacto de un periodo de 120

min, tamaño de partícula de 2 mm, pH de 7.001 y temperatura de 30 °C con una eficiencia del 100 % para todos los metales tóxicos. Concluyó que la corteza de *Azadirachta* es muy recomendable para la biosorción de metales que son tóxicos de aguas consideradas residuales de las mineras.

Mariana et al. (2021), estableció como objetivo la determinación de las características que presenta el carbón activado es cual deriva de la corteza del árbol Jamblang, incluidas su capacidad de adsorción, su eficiencia de adsorción y las características de su isoterma de adsorción. La metodología fue de enfoque cuantitativa, de tipo aplicada, experimental. La muestra estuvo compuesta por la corteza del árbol Jamblang. Los resultados muestran que, con el tiempo óptimo de 120 min y la concentración inicial de adsorbato de 125 ppm, el proceso de adsorción que utiliza el adsorbente activado química y físicamente puede lograr capacidad y eficiencia de adsorción. La capacidad de adsorción y la capacidad de eficiencia alcanzadas son 57,28 mg/g y 60,45%, respectivamente. El proceso relacionado a la adsorción sigue el modelo de isoterma de Langmuir.

Schwantes et al. (2018), modificó químicamente la corteza de pino para adsorber metales tóxicos. La metodología utilizada fue experimental, la corteza de pino se secó a 60 °C durante 48 horas, se machacó, se tamizó el material (malla 14-65) y se separaron las partículas, tamaño estandarizado. Los resultados muestran que el adsorbente de corteza de pino modificado es una excelente alternativa para eliminar los metales Cd (II), Pb(II) y Cr(III) del agua contaminada y que el sorbente modificado supera a la biomasa como biosorbente nativo. Para concluir, la modificación con m H₂SO₄ mostró los valores de Q eq más altos, dominados por la adsorción en monocapa de Cd, Pb y Cr. La reutilización de adsorbentes de pino es posible cuando se utiliza con Cd.

Semerjian (2018), eliminó el Cu y Pb de soluciones acuosas utilizando aserrín de pino (*Pinus halepensis*). Se utilizan metodologías de investigación cuantitativas, aplicadas y experimentales. Los resultados que se obtuvieron fueron que el pH óptimo para remover plomo es de 5-8, con dosis de 10g/L para remover el cobre y plomo en un tiempo de 5 min a 24 horas. Se concluyó con una mayor eficiencia de eliminación en relación a los metales y una mejor capacidad referente a la adsorción en equilibrio a temperaturas más altas. El proceso de adsorción no fue espontáneo sobre Cu y tuvo lugar a menor temperatura sobre Pb.

A nivel nacional, Aucapuella (2021), examinó la aplicación del carbón activado en relación a la adsorción referente a los metales considerados pesados. Se utilizó el análisis documental para recopilar datos para la técnica cualitativa, aplicada y no experimental, que incluyó una muestra de 16 publicaciones de investigación. Asimismo, los resultados señalaron que la combinación de los 2 métodos físico-química se obtiene una mejor remoción de metales, el 90% de los investigadores indicaron que con un pH ácido se logra una mejor activación del carbón, el 80% indicó que el método espectroscopia FTIR es mejor para identificación molecular. Concluyó que tanto el método físico y químico son viables para obtener el carbón activado, los parámetros que más influyeron en la adsorción referente a los metales llamados pesados, es el pH y también el tamaño de las partículas.

Bobadilla y León (2022), en su estudio plantearon como objetivo eliminar el plomo de las cáscaras de coco utilizando biofiltros de carbón activo para la absorción de plomo en la zona crítica del río Moche, que abastece de agua al distrito de Otuzco. Tres litros de agua del río Moche sirvieron de muestra para el enfoque cuantitativo, aplicado y experimental, y se utilizó la observación de campo para recopilar datos. Se mostró una

concentración de plomo de 0.119815 mg/L, cobre de 1.3845 mg/L, arsénico de 2.0758 mg/L, aluminio de 7.665 mg/L, una reducción de plomo de 0.05 mg/L. Según sus conclusiones, el agua no es idónea para el uso humano.

Fajardo (2022), aclaró cómo el carbón activo de las cáscaras de coco afecta la eliminación de cobre en los relaves de la minería metalúrgica. La metodología consistió en una investigación de tipo aplicada, diseño experimental, inductivo, con una muestra de un volumen de 1 kg de relave minero de ámbito metalúrgico, aplicó la observación y el análisis documental para la recopilación de datos. Según los resultados, la densidad aparente, el contenido de agua, las cenizas y los volátiles de la cáscara de la fruta denominada coco tuvieron una concentración de 0,62052 g/mL, así como 8,45128 %, además de 1,51746 % y también 84,45026 %, respectivamente. Además, el carbón activado con una relación de impregnación de 5/4 obtuvo mejores resultados con un 100%. Concluyó que la remoción de cobre no superó el 50% utilizando carbón a base de coco.

Barrenechea y Román (2021), evaluaron la eficacia del empleo de carbón activo a partir de *Prunus persica* y además *Persea americana* para extraer Pb y As del agua del río Maracañete. El estudio manejó un enfoque llamado cuantitativo, así como un tipo conocido como aplicado, igualmente de diseño denominado experimental y nivel nombrado como explicativo. Utilizó 74 litros de agua como muestra, y la observación fue el método empleado para recopilar datos. Según los resultados, el carbón activado a partir de *P. persica* eliminó el 96,94% y el 97,19% de arsénico y plomo simultáneamente, mientras que el carbón activado a partir de *P. americana* eliminó el 95,37% de arsénico y el 95,52% de plomo, respectivamente. Se concluyó que el carbón activo de *P. americana* y *P. persica* es muy prometedor para eliminar plomo y arsénico.

Mamani et al. (2019), examinaron la capacidad del carbón activado derivado de la planta llamada lenteja de agua (*Lemna gibba L.*) para adsorber metales conocidos como pesados del efluente de la mina Lunar de Oro a diversas temperaturas. El enfoque fue experimental, aplicado, cuantitativo y de tipo aplicado; una muestra de 50 gramos de material precursor y empleó la técnica de la observación. Los resultados mostraron una mayor adsorción de mercurio (99,34 %) con el método de la adsorción en columna (MCA) y agitación magnética (AM), seguido de hierro (97,62 %) con AM, y luego cobre (89,13 %) con AM y 79,29 % con MCA. Llegaron a la conclusión de que el proceso vinculado a la adsorción está influido por el pH que posee la solución, así como la estructura de la porosidad y además la acidez de la superficie del carbón denominado activado.

De la misma manera, la investigación tiene un fundamento teórico referente a las variables de estudio, los cuales son presentados a continuación.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Interrogante General

¿Cuál es la eficiencia del carbón activado vegetal en la remoción de metales pesados en el efluente industrial de la actividad minera realizada en Pulan-Santa Cruz?

1.2.2. Interrogantes Específicas

- ¿Cuáles son los valores de pH y conductividad del efluente proveniente de la industria minera en Pulan – Santa Cruz?
- ¿Qué porcentaje de remoción de aluminio, cobre, hierro, manganeso, sodio y zinc se obtiene al tratar el efluente minero con carbón activado vegetal?

- ¿Cuál es la dosis más eficiente de carbón activado vegetal para lograr una alta remoción de metales pesados en el efluente industrial minero de Pulan – Santa Cruz?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia del carbón activado vegetal en la remoción de metales pesados en el efluente industrial de la actividad minera realizada en Pulan-Santa Cruz.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar los parámetros fisicoquímicos de pH y conductividad del efluente proveniente del efluente industrial de la actividad minera realizada en Pulan-Santa Cruz.
- Evaluar el porcentaje de remoción de aluminio, cobre, hierro, manganeso, sodio y zinc del efluente proveniente de la actividad minera industrial en Pulan -Santa Cruz -Cajamarca.
- Determinar la dosis más eficiente de carbón activado vegetal para la remoción de metales pesados presentes en el efluente industrial minero de Pulan – Santa Cruz.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El carbón activado vegetal presenta una eficiencia superior al 90 %, en la remoción de metales pesados presentes en los efluentes de la unidad minera de Pulan – Santa Cruz.

1.4.2. Hipótesis específica

- La aplicación de carbón activado vegetal en el tratamiento del efluente minero de Pulan – Santa Cruz genera una variación significativa en los parámetros fisicoquímicos evaluados.
- El carbón activado vegetal es una alternativa técnicamente viable porque remueve más del 90 % de los metales pesados provenientes de los efluentes de la unidad minera.
- La dosis más eficiente es 1 gr de carbón activado vegetal para obtener la mayor remoción de metales pesados contenidos en los efluentes provenientes de la unidad minera.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

Por centrarse en la solución para suprimir metales considerados pesados que se encuentran en los efluentes de la unidad minera, esta investigación es aplicada de acuerdo con su género. Hernández & Mendoza (2018), muestra que, a la luz de las conclusiones y soluciones esbozadas en los objetivos del estudio, la aplicación de la teoría pretende abordar problemas del mundo real.

2.2 Enfoque de la investigación

El estudio que se presenta, adopta un enfoque denominado cuantitativo, debido a que Hernández & Mendoza (2018), indican que un enfoque cuantitativo tiene que ver con el uso de observación, medición, muestreo, recolección de datos, tratamiento estadístico de los datos, para probar las hipótesis formuladas.

2.3 Alcance de la investigación

El estudio es de alcance correlacional, según Hernández & Mendoza (2018), su objetivo se centra en la determinación del grado de vinculación o relación que existe en un contexto determinado entre dos o más ideas, variables, categorías o sucesos. Asimismo, es de diseño experimental, Hernández & Mendoza (2018), con un diseño estadístico completamente al azar (DCA) de efectos que fueron aplicados a cada uno de los tratamientos planteados con sus respectivas repeticiones.

Figura 1

Modelado matemático

$$y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

y_{ijk} : Observación de la variable respuesta obtenida del tratamiento con el i-ésimo nivel de A, el j-ésimo nivel de B y la repetición k-ésimo

μ : Media general

A_i : Efecto del i-ésimo nivel del factor A

B_j : Efecto del j-ésimo nivel del factor B

AB_{ij} : Efecto de la interacción del i-ésimo nivel del factor A y el j-ésimo nivel del factor B en su repetición K

ε_{ijk} = Error

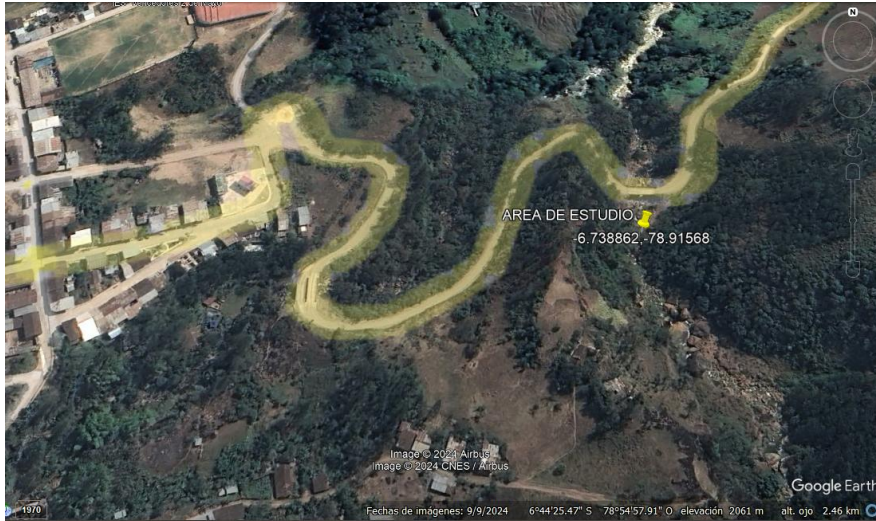
2.4 Población, muestra y muestreo

2.4.1. Población

El término población del presente estudio es la zona de mezcla del efluente de la unidad minera y el afluente Río San Pedro, el cual se ubica en la provincia de Santa Cruz, perteneciente al departamento denominado Cajamarca.

Figura 2

Área de estudio



2.4.2. Muestra

El vocablo muestra, consta de 04 litros del efluente industrial procedente de una instalación minera constituyen la muestra de este estudio. Este volumen se eligió para proporcionar una cantidad representativa y suficiente que permita repetir los experimentos sin sacrificar la precisión de los resultados. De acuerdo con estudios anteriores, como el de Aquino (2021) y (Meseldzja, et al., 2020), esta cantidad se dividirá en trozos de 50, 100 y 150 ml, que se tratarán durante 60, 90 y 120 minutos. La utilización de 4 litros permitirá examinar adecuadamente los efectos de tratamientos a dosis y períodos variados, permitiendo generar datos confiables y extensibles a situaciones reales del sector minero.

2.4.3. Muestreo

Se ejecutó un muestreo conocido como no probabilístico por conveniencia de los efluentes de la unidad minera y carbón activado de *Pinus patula*.

2.5 Materiales, equipos y métodos

2.5.1. Materiales

Entre los componentes utilizados se encuentran vasos de precipitados (100 ml, 400 y 500 ml), matraz Erlenmeyer, papel de filtro, embudos de vidrio, pissetas, varilla de vidrio, papel de aluminio, soporte universal, vasos de reloj, bolsa Ziploc de embalaje, guantes de látex y carbón activado de corteza de pino.

2.5.2. Equipos

La balanza de precisión, mufla, el horno eléctrico, el agitador magnético y las barras agitadoras magnéticas fueron algunas de las herramientas utilizadas.

2.5.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

Observación: se utilizó esta técnica con el propósito de recolectar la corteza del pino, soluciones preparadas para realizar ensayos en laboratorio, así como al momento del muestreo y recoger información de las muestras.

Análisis ejecutados en laboratorio: Las muestras fueron enviadas a un laboratorio que se encuentre acreditado por la entidad llamada INACAL para comprobar los resultados relativos a los metales pesados, así como para analizar se procedió a comparar con resultados de otras investigaciones mediante el análisis documental.

Se dispuso como instrumento la denominada ficha de observación (Anexo 3) y el informe de análisis de laboratorio, que se prepararon con Microsoft Excel y se basaron en el procedimiento de vigilancia del estado higiénico de los recursos hídricos superficiales antes de ser examinados por el programa informático estadístico.

2.5.4. Procedimiento

2.5.4.1. Formulación de los tratamientos

La tabla de tratamientos representa un conjunto de combinaciones experimentales destinadas a evaluar el impacto de diversos factores en un determinado procedimiento. Cada tratamiento consta de un volumen de efluente (medido en mililitros), una cantidad de carbón activado (medida en gramos) y una duración del contacto (medida en minutos), permaneciendo las RPM constantes en 220. El tratamiento “Control” no contiene carbón activado, mientras que los demás tratamientos (T1 a T6) evalúan diferentes dosis de carbón activado (0,7 g o 1 g) y volúmenes de efluente (50 ml, 100 ml, 150 ml), con periodos de tratamiento que oscilan entre 60 y 120 minutos. Estos tratamientos permiten comparar los efectos de múltiples factores en el proceso en cuestión para ver qué combinación es más beneficiosa.

Tabla 1

Tratamientos de la investigación

Tratamientos	Combinaciones		Tiempo (min)	RPM	Repeticiones
	Efluente (ml)	Carbón activado vegetal (g)			
Testigo	100	-	-	220	3
T1	50	0.7	60	220	3
T2	50	1	60	220	3
T3	100	0.7	90	220	3
T4	100	1	90	220	3
T5	150	0.7	120	220	3
T6	150	1	120	220	3

2.5.4.2. Preparación del carbón activado

Paso 1: Se alistó el material precursor, se reducirá su tamaño y se tamizó la corteza de pino.

Paso 2: en este paso se da el proceso de impregnación de la muestra tamizada de corteza con el Agente Activante (H_3PO_4), durante 24 horas se mezcla la corteza con el agente a temperatura ambiente con un agitador magnético, luego se pasó a estufa a $90^\circ C$ por un periodo de 10 horas.

Paso 3: en esta fase la muestra impregnada se colocó a $400^\circ C$ que es una temperatura de estabilización durante 2 horas.

Paso 4: el carbón activado se coció en un horno a $60^\circ C$ después de limpiar el material con ayuda de agua destilada hasta lograr un pH constante de 3.

2.5.4.3. Ensayos de adsorción

Se generaron muestras de agua del efluente de la unidad minera y se realizaron experimentos de adsorción para distintas concentraciones de carbón activado con el fin

de obtener las isothermas de adsorción, teniendo en cuenta que el tiempo de exposición del líquido con el material adsorbente es de 60, 90 y 120 minutos, a 20°C con una agitación constante de 220 RPM. Por lo que las 3 cantidades de agua proveniente del efluente de la unidad minera se colocó en contacto con las 4 diferentes cantidades de carbón activado.

Figura 3

Diagrama del proceso metodológico

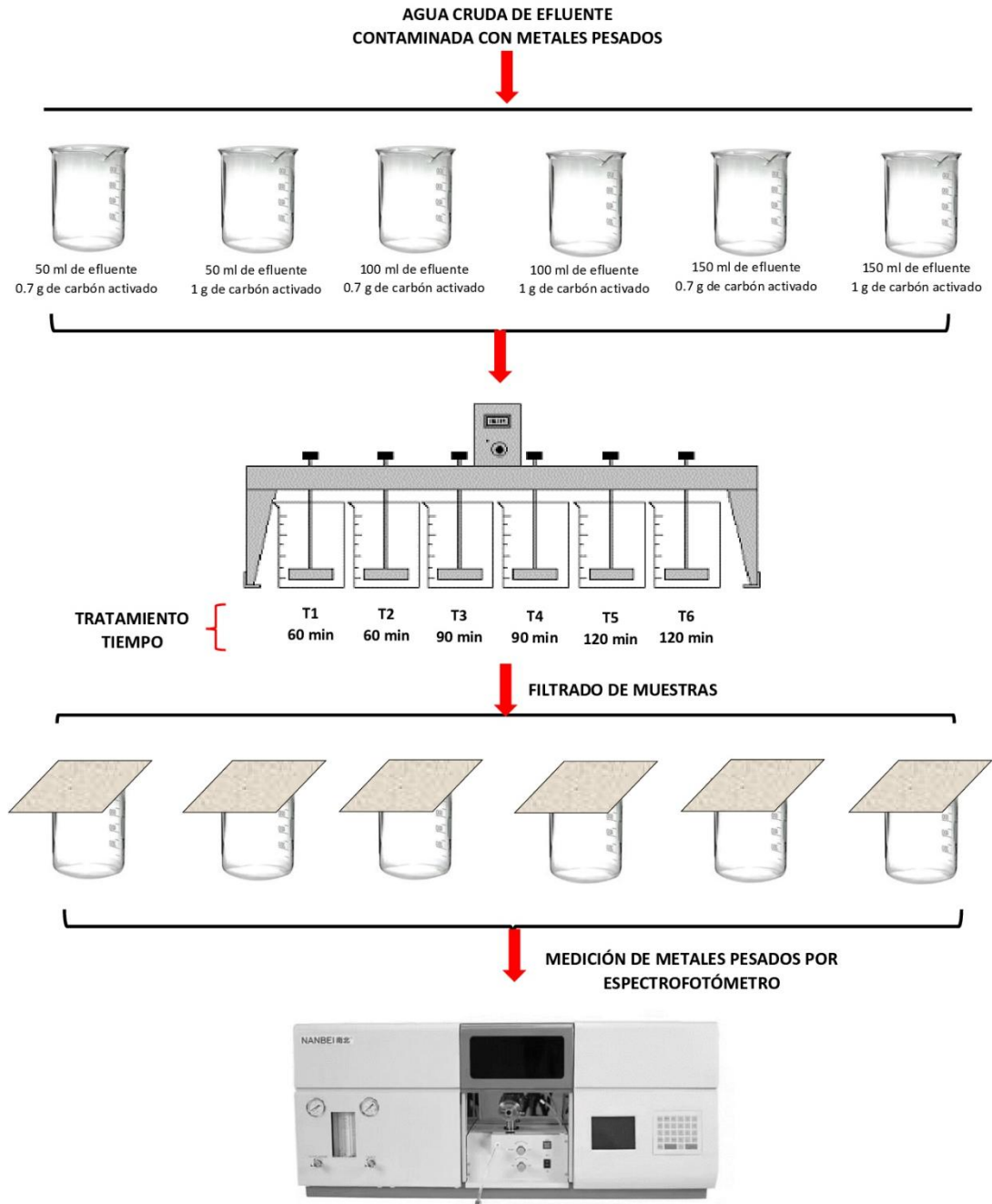


Figura 4

Ecuación de capacidad de adsorción

$$q_c = \frac{(C_i - C_f)}{M} \times V$$

qc: Capacidad de adsorción en mg de metales/ gr de carbón activado

Ci: concentración inicial (mg/L)

Cf: concentración final (mg/L)

M: Masa del material adsorbente (gr)

V: Volumen de la muestra (L)

Ecuación de porcentaje de remoción

$$\% \text{ remoción} = 100 \times \frac{(C_i - C_f)}{C_i}$$

2.5.4.4. Método de análisis de datos

Una vez recogidos los datos, se utilizó la versión 27 de IBM SPSS Statistics para realizar un análisis ANOVA a fin de determinar la media de cada parámetro evaluado y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey para determinar el impacto del carbón activado en la erradicación de metales conocidos como pesados, con un nivel de significación del 95%.

2.6 Variables

Variable Independiente

Carbón Activado obtenido de la zona de la corteza de pino (*Pinus patula*).

Definición de forma conceptual: El carbón denominado activado, se produce por activación física o química. El objetivo de este proceso es transformar el material carbonoso en un material fuertemente adsorbente aumentando la porosidad interna y desarrollando grupos funcionales específicos (Ahmad & Azam, 2019).

Definición operacional: el carbón activado se utilizó como alternativa de solución para remover los metales pesados, obteniendo mediante el proceso químico utilizando ácido fosfórico y físico con temperatura de 400°C aplicados a la corteza del pino.

Variable Dependiente

Adsorción de metales pesados, del efluente de la unidad minera.

Definición de manera conceptual: Este fenómeno físico se produce cuando una sustancia química líquida o gaseosa se encuentra con un adsorbente sólido y se adsorbe físicamente a su superficie. Como no hay intercambio eléctrico, este proceso es reversible (Heidarinejad et al., 2020).

Definición operacional: la adsorción de los principales metales presentes del efluente en las distintas dosis de aplicación se realizó cuando el carbón activado entró en contacto, evaluando la concentración en un principio de los metales y también la concentración al finalizar, después de ejecutar el tratamiento.

2.7 Aspectos éticos

La presente investigación tomó los datos reales sin alterar ninguno de ellos, así mismo cumplió con los lineamientos de la UPN de promover el bienestar de la comunidad en estudio, acatando las normas de la investigación científica y citando correctamente la totalidad de las fuentes que fueron consultadas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se desarrolló la medición de factores fisicoquímicos, de los cuales se analizaron el pH, la conductividad eléctrica y la turbidez del efluente de una unidad minera. Dónde se pudo observar el antes y después de la remoción de los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 2

Concentración inicial y final de efluente de unidad minera

Tratamiento	Tiempo	Cantidad de muestra de carbón	pH	Conductividad
Testigo	60 min	.	3.49	4.16 μ s/cm

Tabla 3

Concentración inicial y final de conductividad eléctrica e unidad minera en el tratamiento 1, 2 y 3

Tratamiento	Tiempo	Cantidad de muestra de carbón	pH	Conductividad
1 pre test	60 min	50 ml/0.7 g	6.45 g	485 μ s/cm
		100 ml/1	6.97 g	512 μ s/cm
1 post test		50 ml/0.7 g	4.31 g	431 μ s/cm
		100 ml/1	4.57 g	457 μ s/cm

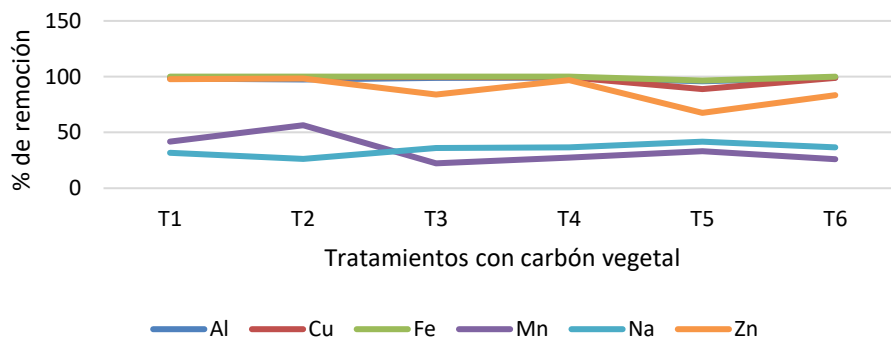
Tratamiento	Tiempo	Cantidad de muestra de carbón	pH	Conductividad
2	90 min	100 ml/0,7 g	6.60 g	423 $\mu\text{s/cm}$
pre test		100 ml/1 g	6.81 g	401 $\mu\text{s/cm}$
2		100 ml/0,7 g	6.65 g	408 $\mu\text{s/cm}$
post test		100 ml/1 g	6.75 g	410 $\mu\text{s/cm}$
Tratamiento	Tiempo	Cantidad de muestra de carbón	pH	Conductividad
3	120 min	150 ml/0,7 g	6.60 g	396.44 $\mu\text{s/cm}$
pre test		150 ml/1 g	6.70 g	441 $\mu\text{s/cm}$
3		150 ml/0,7 g	4.76 g	295.45 $\mu\text{s/cm}$
post test		150 ml/1 g	4.76 g	410 $\mu\text{s/cm}$

Los resultados demuestran que las características fisicoquímicas del efluente de la unidad minera, en particular su pH y conductividad, mejoran notablemente con los tratamientos de carbón vegetal. Mientras que la conductividad era de 4,16 $\mu\text{S/cm}$ y el pH de 3,49 en el tratamiento de control (sin intervención), el pH aumentó (de 6,45 a 4,31 en el tratamiento 1 y de 6,60 a 4,76 en el tratamiento 3) en los tratamientos con carbón vegetal, lo que sugiere una disminución de la acidez. En cuanto a la conductividad, el tratamiento 3 (120 min) mostró un descenso más significativo, pasando de 396,44 $\mu\text{S/cm}$ a 295,45 $\mu\text{S/cm}$, lo que indica una eliminación más satisfactoria de los contaminantes disueltos.

Como alternativa, se generaron los resultados de la evaluación de la eficacia del carbón activado vegetal en la eliminación de metales pesados de los efluentes de las unidades mineras.

Figura 5

Resultado del Análisis de laboratorio del % de remoción de metales pesados



En la 5 se muestran los porcentajes medios de reducción de metales llamados pesados de las aguas denominadas residuales de la unidad minera tratadas con carbón activo vegetal. Los metales Al, Cu y Fe presentan los mayores porcentajes de eliminación; el tratamiento T4 presenta el mayor porcentaje de eliminación de Al, con un 99,17%, mientras que el tratamiento T6 presenta el mayor porcentaje de eliminación de Al, con un 99,15%. En cuanto al cobre, los tratamientos T2 y T3 obtuvieron un 99,62% y un 99,64%, respectivamente.

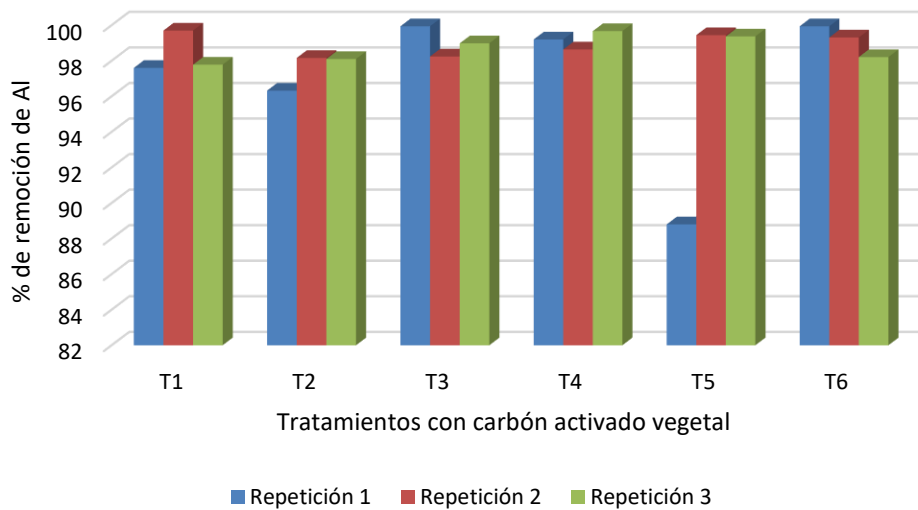
Los tratamientos T1 y T6, con tasas de eliminación del 99,97% y 99,98%, respectivamente, demostraron los niveles más altos de eliminación de hierro. El tratamiento T2 eliminó el manganeso en un 56,47%, mientras que el T1 lo hizo en un 41,69%. En cuanto al sodio, el tratamiento T5 produjo una eliminación del 41,73%. En

conclusión, los tratamientos T1 y T2 demostraron resultados excepcionales para el zinc, eliminando el 96,85% y el 98,36% del metal, respectivamente.

En cuanto a la determinación de la dosis óptima de carbón activado vegetal necesaria para obtener la mayor remoción enfocada a los metales pesados contenidos en los efluentes provenientes de la unidad minera; iniciando con la remoción del metal aluminio (Al).

Figura 6

Porcentaje de remoción de aluminio (Al) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal.



Respecto a la Figura 6, se visualizan los resultados del análisis de laboratorio de Al, correspondientes a los tratamientos de acuerdo con la dosificación de carbón activado vegetal y los diferentes volúmenes de efluente (50, 100 y 150 ml), en las cuales se puede observar que existe una mejor respuesta en el T6, predominando con 99.94% de remoción de Al, a diferencia del T5 en su primera repetición con un valor bajo de 88.8% de remoción.

Tabla 4

Prueba de normalidad para los metales

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Al (mg/L)	0.860	21	0.006
Cu (mg/L)	0.539	21	0.000
Fe (mg/L)	0.948	21	0.311
Mn (mg/L)	0.955	21	0.414
Na (mg/L)	0.925	21	0.109
Zn (mg/L)	0.898	21	0.032

Nota. IBM SPSS 27

Con ayuda de la tabla 4 demuestra que los metales hierro, manganeso y sodio tienen valores de significación superiores a 0,05, lo que indica que poseen una distribución de manera normal, tras la aplicación de la prueba de normalidad denominada Shapiro-Wilk. Por el contrario, el zinc, el cobre y el aluminio presentan valores de significación inferiores a 0,05, lo que indica que su distribución no es típica. Por este motivo, los metales con valores significativos inferiores a 0,05 se sometieron a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, mientras que los metales con valores superiores a 0,05 se sometieron a un ANOVA.

Tabla 5

Prueba de Kruskal - Wallis para la cantidad de aluminio

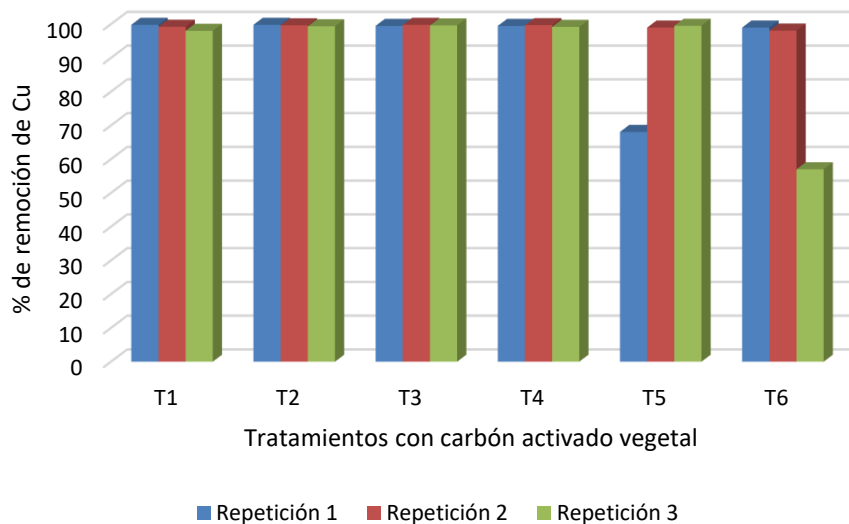
	Al (mg/L)
H de Kruskal-Wallis	17.672
gl	6
Sig. asin.	0.007

Nota. IBM SPSS 27

Por otro lado, la Tabla 5 demuestra que se alcanzó una significación inferior a 0,05 ($p = 0,007$) tras el uso de la prueba de Kruskal-Wallis. Esto sugiere que al menos una de las terapias influye significativamente en el proceso.

Figura 7

Porcentaje de remoción de cobre (Cu) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal.



En la Figura 7, muestra los resultados del análisis de laboratorio de Cu, correspondientes a los tratamientos de acuerdo con la dosificación de carbón activado

vegetal y los diferentes volúmenes de efluente (50, 100 y 150ml), en las cuales se puede observar que existe una mejor respuesta en los T1, T2, T3, predominando con 99.80% de remoción de Cu, a diferencia del T6 en su tercera repetición con un valor bajo de 54% de remoción.

Tabla 6

Prueba de Kruskal - Wallis para la cantidad de cobre

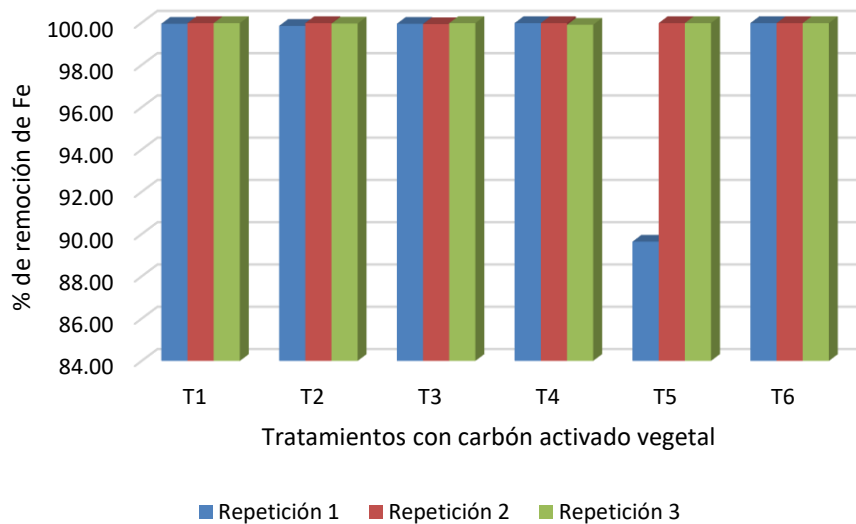
	Cu (mg/L)
H de Kruskal-Wallis	17.046
gl	6
Sig. asin.	0.009

Nota. IBM SPSS 27

En la tabla 6 se puede observar una significancia menor a 0.05 ($p = 0.009$), por lo que se concluye que la proporción de Cu eliminada de los efluentes de la unidad minera utilizando carbón activado vegetal se visualiza en la Figura 8. Es así que el tratamiento T2 eliminó el 99,62% del Cu, mientras que el tratamiento T3 eliminó el 99,64%, lo que demuestra un alto nivel de éxito en la reducción del Cu.

Figura 8

Porcentaje de remoción de hierro (Fe) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal.



A partir de la Figura 8, se observan los resultados del análisis de laboratorio de Fe, correspondientes a los tratamientos de acuerdo con la dosificación de carbón activado vegetal y los diferentes volúmenes de efluente (50, 100 y 150ml), en las cuales se puede observar que existe una mejor respuesta en las tres repeticiones del T6 predominando con 99.98% de remoción de Fe, el que obtuve una valoración baja con respecto a todos los resultados fue el T5 en su primera repetición con un valor bajo de 89.64% de remoción.

Tabla 7

Prueba de ANOVA para la cantidad de hierro

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	22.650	6	3.775	13.933	0.000
Dentro de grupos	3.793	14	0.271		
Total	26.443	20			

Nota. IBM SPSS 27

La prueba ANOVA arrojó una significación inferior a 0,05 ($p < 001$), como demuestra la Tabla 7, lo que indica que al menos un tratamiento influyó en el proceso.

Tabla 8

Prueba de homogeneidad de varianzas para el hierro

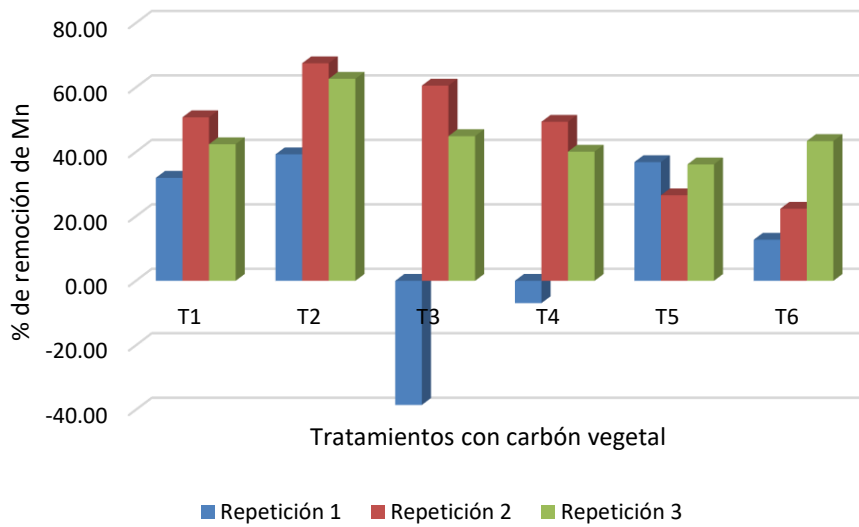
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Fe (mg/L)	Se basa en la media	3.916	6	14	0.017
	Se basa en la mediana	0.367	6	14	0.888
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.367	6	5.205	0.874
	Se basa en la media recortada	3.283	6	14	0.031

Nota. IBM SPSS 27

Como puede verse en la Tabla 8, el análisis de Levene arrojó una significación inferior a 0,05 ($p = 0,017$), esto indica que las varianzas no son homogéneas. Por esta razón, se emplea la prueba llamada post-T3 de Dunnett.

Figura 9

Porcentaje de remoción de manganeso (Mn) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal.



En relación a la Figura 9, se observan los resultados del análisis de laboratorio de Mn, correspondientes a los tratamientos de acuerdo con la dosificación de carbón activado vegetal y los diferentes volúmenes de efluente (50, 100 y 150), en las cuales se puede observar que existe una mejor respuesta en las tres repeticiones del T2 predominando con 67.48% de remoción de Mn en su segunda repetición y 62.67% en su tercera repetición, a diferencia del T3, donde aumentaron los niveles de Mg en el efluente con un -38.52% de porcentaje de remoción.

Tabla 9
Prueba de ANOVA para la cantidad de manganeso

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.123	6	0.020	13.405	0.000
Dentro de grupos	0.021	14	0.002		
Total	0.144	20			

Nota. IBM SPSS 27

Por intermedio de la tabla 9 se puede observar que después de la aplicación de la prueba llamada ANOVA, se presentó una significancia inferior a 0.05 ($p < .001$), con ello se concluye que al menos un tratamiento produce efecto en el proceso.

Tabla 10
Prueba de homogeneidad de varianzas para la cantidad de manganeso

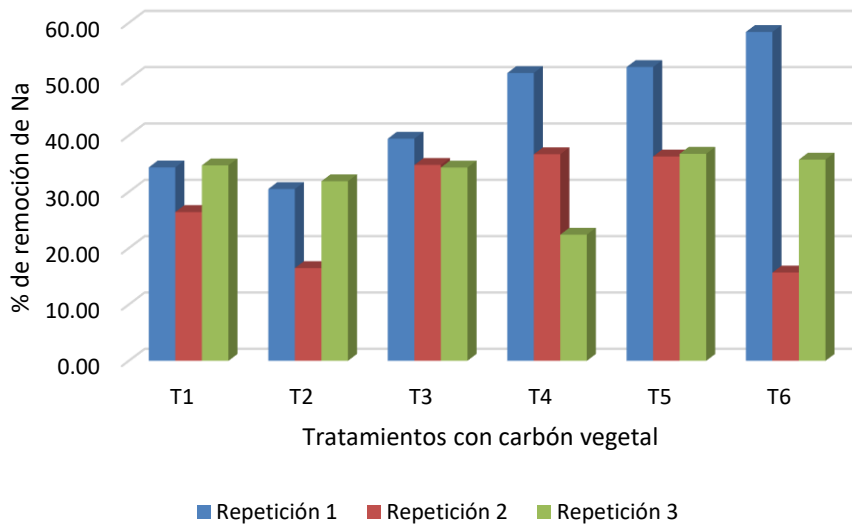
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Mn (mg/L)	Se basa en la media	2.093	6	14	0.120
	Se basa en la mediana	0.494	6	14	0.802
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.494	6	6.891	0.795
	Se basa en la media recortada	1.920	6	14	0.147

Nota. IBM SPSS 27

Por medio de la tabla 10 se puede observar que después de la aplicación del análisis de Levene, se presentó una significancia mayor a 0.05 ($p = 0.120$), con ello se concluye que las varianzas son homogéneas, por ello se emplea la prueba llamada post de Tukey.

Figura 10

Porcentaje de remoción de sodio (Na) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal.



Con ayuda de la Figura 10, se visualizan los resultados del análisis de laboratorio de Na, correspondientes a los tratamientos de acuerdo con la dosificación de carbón activado vegetal y los diferentes volúmenes de efluente (50, 100 y 150), en las cuales se puede observar que existe una mejor respuesta en la primera repetición de los tratamientos T6, T5, T4 con 58.39%, 52.16% y 51.10% respectivamente en remoción de Na, a diferencia del T2 y T6 en su segunda repetición, donde la remoción de Na en el efluente fueron de 15.67% y 16.46%.

Tabla 11

Prueba ANOVA para la cantidad de sodio

Na (mg/L)	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	75.472	6	12.579	4.529	0.009
Dentro de grupos	38.882	14	2.777		
Total	114.354	20			

Nota. IBM SPSS 27

Utilizando la tabla 11 se demuestra que la prueba llamada ANOVA arrojó una significación inferior a 0,05 ($p = 0,009$), lo que indica que al menos un tratamiento influyó en el proceso.

Tabla 12

Prueba de homogeneidad de varianzas para la cantidad de sodio

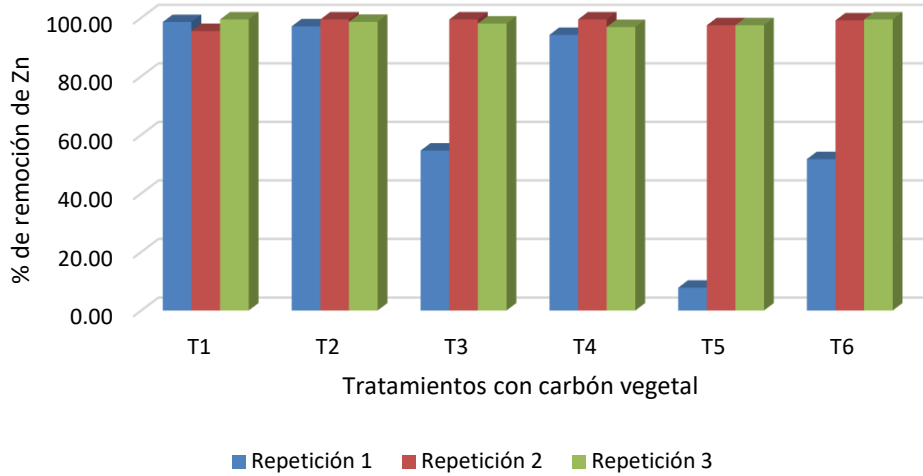
		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
	Se basa en la media	1.867	6	14	0.157
	Se basa en la mediana	1.175	6	14	0.373
Na (mg/L)	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.175	6	7.974	0.405
	Se basa en la media recortada	1.831	6	14	0.165

Nota. IBM SPSS 27

Se utiliza el postest de Tukey porque, como demuestra la Tabla 12, se obtuvo una significación superior a 0,05 ($p = 0,157$) tras utilizar el test de Levene, lo que indica que las varianzas son homogéneas.

Figura 11

Porcentaje de remoción de zinc (Zn) en los efluentes provenientes de la unidad minera con carbón activado vegetal.



A través de la Figura 11, se exhiben los resultados del análisis de laboratorio de Zn, correspondientes a los tratamientos, en las cuales se puede observar que existe una mejor respuesta en la segunda repetición de los tratamientos T2, T3, T4 con 99.41% respectivamente, el T1 y T6 en su tercera repetición, con 99.41% de remoción de Zn.

Tabla 13

Prueba de Kruskal - Wallis para la cantidad de zinc

	Zn (mg/L)
H de Kruskal-Wallis	18.584
gl	6
Sig. asin.	0.005

Nota. IBM SPSS 27

Empleando la tabla 13 se puede observar que después de ejecutar la prueba de Kruskal – Wallis, se presentó una significancia inferior a 0.05 ($p = 0.005$), con ello se concluye que al menos un tratamiento causa efecto en el proceso.

Tabla 14

Pruebas post hoc para la remoción de metales pesados

Tratamientos	Al (mg/L)		Cu (mg/L)		Fe (mg/L)		Mn (mg/L)		Na (mg/L)		Zn (mg/L)	
T0. Grupo testigo	6.23 ± 0.19	d	1.94 ± 0.04	a	19.31 ± 0.3	a	0.4 ± 0.02	a	14.89 ± 0.96	a	0.64 ± 0.03	d
T1. 50 ml (60 min. 0.7 g)	6.05 ± 0.04	bc d	1.02 ± 0.02	ab	19.18 ± 0.3	a	0.35 ± 0.02	a b	10.29 ± 0.96	a b	0.59 ± 0.05	cd
T2. 50 ml (60 min. 1 g)	5.15 ± 0.07	ab	0.97 ± 0.06	ab c	18.34 ± 0.3	a b	0.18 ± 0.02	c	11.13 ± 0.96	a b	0.53 ± 0.04	bcd
T3. 100 ml (90 min. 0.7 g)	6.02 ± 0.03	bc d	0.98 ± 0.01	ab c	17.53 ± 0.3	b c	0.19 ± 0.02	c	9.63 ± 0.96	b	0.49 ± 0.02	abc d
T4. 100 ml (90 min. 1 g)	6.1 ± 0.07	cd	0.91 ± 0.01	bc	17.58 ± 0.3	b c	0.23 ± 0.02	c	9.55 ± 0.96	b	0.46 ± 0.02	abc
T5. 150 ml (120 min. 0.7 g)	5.74 ± 0.09	ab c	0.91 ± 0.01	bc	17 ± 0.3	b c	0.26 ± 0.02	b c	8.79 ± 0.96	b	0.43 ± 0.01	ab
T6. 150 ml (120 min. 1 g)	4.93 ± 0.2	a	0.9 ± 0.02	c	16.26 ± 0.3	c	0.28 ± 0.02	b c	9.57 ± 0.96	b	0.42 ± 0.01	a

Nota. IBM SPSS 27

Al utilizar la prueba T3 de Dunnett para la eliminación del aluminio, la tabla 14 demuestra que los tratamientos 2 y 6 difieren significativamente del grupo de control. Como en el caso de la eliminación del cobre, es evidente que el grupo de control y todos los tratamientos utilizados difieren significativamente entre sí; del mismo modo, el tratamiento 6 y el grupo de control difieren significativamente entre sí; se observaron resultados similares para la eliminación de manganeso, donde hubo diferencias notables entre el grupo de control y los tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6; la eliminación de sodio, donde hubo diferencias notables entre el grupo de control y los tratamientos 3, 4, 5 y 6; y la eliminación de zinc, donde hubo diferencias notables entre el grupo de control y el tratamiento 6.

Referente a la viabilidad técnica del empleo del carbón activado vegetal como alternativa de solución para la remoción de los principales metales llamados pesados de los efluentes de la unidad minera, los resultados presentados demuestran la viabilidad como método de tratamiento de aguas residuales mineras, en este caso la unidad minera, debido a sus propiedades físicas, como una gran superficie específica y una elevada

microporosidad, constituye una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales mediante el proceso de adsorción. También supone una aportación novedosa a los estudios de tratamiento de aguas residuales, ya que contribuye con resultados experimentales al análisis de la viabilidad técnica de utilizar un residuo, como la corteza de pino, y carbón activado en el tratamiento de aguas residuales procedentes de la minería.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados del estudio, centrado en la utilidad del carbón activado vegetal para eliminar metales llamados pesados que se encuentran en efluentes de la unidad minera, demuestran la potencia del material como adsorbente. En concreto, se observó que el tratamiento T2 eliminó el 99,62% del cobre (Cu), y el tratamiento T3 eliminó el 99,64%. Estos resultados son similares a los de Guijarro (2022), quien descubrió que, en entornos controlados, el carbón activado puede eliminar más del 80% de los metales pesados en concentraciones hasta diez veces superiores al nivel de tolerancia. Además, en su investigación se observó que la eficacia del carbón activado aumentaba con el tiempo de contacto y alcanzaba su punto máximo a los 60 minutos. Mariana et al. (2021) también destacaron la importancia de variables como el pH, y de igual forma el tiempo referente al contacto, para maximizar la eficiencia de adsorción; en esta investigación, se demostró que la remoción de metales se realizaba mejor con un pH ideal de 6,5. Estos resultados concuerdan con los de Aucapuclla (2021), quien descubrió que el uso de carbón llamado activado, es esencial para la remoción de metales en medios contaminados. También implican que, optimizando los parámetros de operación, el carbón activado puede ser una solución sostenible y exitosa para el tratamiento de aguas residuales mineras.

Para el objetivo general se examinaron las cantidades de metales pesados en diferentes muestras para evaluar la eficacia del carbón activado vegetal en la eliminación de estos en los efluentes de la unidad minera. La figura 2 muestra altos porcentajes de eficacia para cada tratamiento, destacando el tratamiento T4 por presentar los mayores niveles de eliminación de hierro (Fe), cobre (Cu) y aluminio (Al) con porcentajes del 99,95%, 99,47% y 99,17%, respectivamente. Los tratamientos T1 y T6 demostraron una notable eliminación de hierro, alcanzando el 99,97% y el 99,98%, respectivamente.

Además, la eficacia de eliminación de zinc (Zn) de los tratamientos T1 y T2 fue impresionante, con porcentajes de 96,85% y 98,36%, respectivamente. Estos resultados apoyan las conclusiones de Adetoro y Ojawa (2020), que afirman que la mayoría de los metales nocivos pueden eliminarse con carbón activado hecho de corteza de árbol con una eficacia de casi el 100 % de las veces. Similar a esto, la investigación de Schwantes et al. (2018) muestra que la corteza de pino es un gran sustituto para eliminar metales pesados de los efluentes mineros. Por otro lado, según la investigación de Fajardo (2022), el carbón activado no mejoró significativamente la eliminación de metales pesados.

Con respecto al primer objeto específico, Analizar los parámetros fisicoquímicos de pH y conductividad del efluente proveniente de la industria minera en Pulan-Santa Cruz. Asimismo, los resultados presentados en este estudio coinciden en cierta medida con las investigaciones anteriores, incluidos los de Adetoro y Ojawa (2020) y Aucapuella (2021), que también examinaron la eliminación de contaminantes de las aguas residuales mineras mediante técnicas de adsorción, aunque con materiales diferentes como el carbón activado y la corteza de Azadirachta. En este caso, los tratamientos con carbón activado de la unidad minera Pulan-Santa Cruz disminuyeron significativamente el pH y la conductividad del efluente, mostrando un aumento en la calidad del agua tratada. Esto concuerda con los hallazgos de Adetoro y Ojawa (2020), quienes también observaron un buen desempeño en la remoción de contaminantes mediante técnicas de adsorción, y Aucapuella (2021), quien señaló que un pH ácido mejora la adsorción de metales pesados. Además, de forma similar a experimentos anteriores, se descubrió que la dosis de carbono y la duración de la exposición determinaron la eficacia de la terapia. En concreto, la conductividad y la disminución del pH se lograron mejor con el mayor periodo de tratamiento (120 minutos), lo que indica que ampliar el tiempo de contacto y añadir más

adsorbente maximiza la eliminación de contaminantes. Las propiedades fisicoquímicas de los efluentes mineros pueden mejorarse mediante tratamientos con carbón activado, lo que constituye una solución práctica y eficaz que respalda el objetivo perseguido.

Con respecto al segundo objetivo específico, referente a evaluar el porcentaje de remoción de aluminio, cobre, hierro, manganeso, sodio y zinc del efluente proveniente de la actividad minera industrial en Pulan -Santa Cruz -Cajamarca, por el uso del carbón vegetal conocido como activado, en la Figura 2, se observan los resultados del análisis de laboratorio, que la dosis de 1g de carbón activo vegetal en 100 ml de efluente minero a unos 220 RPM por 90 minutos redujo mayor contenido de metales pesados, con el 99.17% en Al, 99.47% en Cu, 99.95% en Fe y 96.79% en Zn; pese a ello todos los tratamientos han presentados buenos resultados en estos metales, a diferencia de los resultados enfocados en la eficiencia en la eliminación de Mn y Na, donde solo la dosis de 0.7 gr en 50 ml de efluente minero a unos 220 RPM por 60 minutos logró más del 50%; en cuanto a Na, ningún tratamiento logró tener resultados mayores al 50% de eficiencia. La teoría que avala este resultado es que con el aumento de carbón activo existe una disminución alta de metales pesados, de acuerdo con Feijoo et al., (2019) esto se da por lo general por el nivel de porosidad, donde su elevada superficie interna genera mayor adsorción de metales pesados. De acuerdo con Semerjian (2018), en su estudio la mayor dosis de carbón activo (10g) logró remover con mayor eficiencia los metales pesados, asimismo con Barrenechea y Román (2021) que con carbón activado vegetal logró una remoción mayor al 95.37% en todos los metales encontrados, similar Mamani et al. (2019) con eficiencias mayores a 98%.

En relación al tercer objetivo específico de estimar la dosis más eficiente de carbón activado vegetal para la remoción de metales pesados. La teoría de Semerjian

(2018) confirmó que el uso de corteza arboarboide como carbón activado produce una eliminación eficaz. Una dosis de un volumen de 1g de carbón vegetal conocido como activado, redujo el contenido de Al en un 99,94% en 150 ml de efluente minero durante 120 minutos. Una dosis de 0,7g mostró una eliminación significativa, con notables diferencias en la prueba T3 de Dunnett entre el grupo de prueba y los tratamientos 2 y 6. Para el Cu, una dosis de 1g a 220 RPM durante 60 minutos resultó en una reducción del 99,8%, alineándose con los hallazgos de Mamani et al. (2019) de 89,13% de remoción de Cu. Fajardo (2022) no superó el 50% en la remoción de cobre utilizando carbohidratos vegetales. Todas las dosis mostraron un porcentaje de remoción del 99,95% en la mayoría de las repeticiones, con diferencias significativas en el tratamiento 6. Para el Mn, se observó una reducción del 67,48% con 1g a 220 RPM durante 60 minutos. Por último, una dosis de 1g en 150 ml a 220 RPM durante 120 minutos redujo el Zn en un 99,41%, demostrando diferencias significativas en la prueba T3 de Dunnett.

En cuanto a la limitación de tiempo, el clima de Cajamarca dificultó la recogida de muestras y su transporte al laboratorio para su análisis, lo que a su vez dificultó la realización de las encuestas requeridas. Debido a la escasez de datos de referencia sobre la utilización del carbón activado derivado de la corteza de pino, el estudio carecía de una base teórica sólida con respecto a la limitación temática. Además, el análisis en profundidad del tema y la semejanza con anteriores estudios se vieron obstaculizados por la imposibilidad de conseguir publicaciones pertinentes para la investigación.

Desde el punto de vista de las implicaciones para la investigación, se trata de un sustituto práctico y rentable que otros estudiosos o estudiantes pueden duplicar, al tiempo que sirve de base para nuevas investigaciones.

Se hace hincapié en la aplicación metodológica sugerida en la tesis desarrollada como recomendación. Este método es una alternativa al tratamiento como biorremediador utilizado para la minería, principalmente por su rápida acción descontaminante. Esto ayuda a evitar la descarga de efluentes mineros a las fuentes de agua, lo que tiene efectos ambientales negativos y acelera la resiliencia del agua.

La aplicación de políticas, estrategias y planes de acción dirigidos específicamente a la gestión de los vertidos de efluentes mineros puede ser reforzada por organizaciones como OEFA, MINAM y ONG. Pueden colaborar con los agricultores comprometidos con la comercialización de la corteza de pino para promover la preservación del medio ambiente y la sostenibilidad social.

En conclusión, el uso de carbón activado vegetal en la remoción mostró una respuesta estadísticamente significativa, generando una eficiencia mayor al 90% en todos los tratamientos de remoción de Al, Cu, Fe, Zn y menos del 50% de eficiencia en la remoción de Mn y Na.

Se evaluaron diferentes dosis de carbón que se encuentra activo de forma vegetal en la eliminación de metales pesados en efluentes mineros, de 1 gr y 0.7 gr, predominando la dosis de 1 gr, en el segundo y cuarto tratamiento (T2 y T4), lograron disminuir más del 99% de Al, Cu y Fe.

El carbón activo vegetal a partir de corteza de pino presenta una gran capacidad remediadora, convirtiéndose en una alternativa con viabilidad técnica para la supresión de los principales metales conocidos como pesados de los efluentes de la unidad minera, con un efecto significativamente

REFERENCIAS

- Adetoro, E., & Ojawa, S. (2020). Optimization study of biosorption of toxic metals from mining wastewater using *Azadirachta indica* bark adsorbents. *Water Science & Technology*, 82(5), 887–904. doi:<https://doi.org/10.2166/wst.2020.394>
- Ahmad, A., & Azam, T. (2019). Water Purification Technologies. *The Science of Beverages*, 4(1), 83-120. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815272-0.00004-0>
- Alvarez, D., & Lopez, S. (2023). *Evaluación de remoción de metales pesados del agua residual de la industria minera, utilizando carbón activado de las fibras naturales de la cabuya*. Riobamba: Universidad Superior Politécnica de Chimborazo.
- Alvizuri, P. (2022). *Estudio de la ósmosis inversa operada a baja presión como tratamiento de una fuente natural contaminada por actividad minera, en la microcuenca milluni en Bolivia, para el abastecimiento de agua segura a poblaciones*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Aquino, K. (2021). *Eficiencia de la remoción de plomo II de aguas residuales mineras utilizando almidón de cáscara de papa (Solanin tuberosum) como coagulante natural*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Arán et. al. (2020). Calidad ambiental de suelos y aguas de la Mina Fé: situación inicial y alternativas de recuperación. *Spanish Journal of Soil Science*, 10(1). doi:10.3232/SJSS.2020.V10.N1.06
- Arias, J. L. (2020). *Proyecto de tesis Guía para la elaboración*. Arequipa.
- Arizaca, A., Pastor, W., Medina, G., Huisa, F., Arizaca, F., Gallegos, S., . . . Mamani, M. (2024). Evaluación del impacto en los recursos hídricos de la minería artesanal en la cuenca alta del Amazonas. *Editora Científica*, 217-233.

doi:<https://www.editoracientifica.com.br/books/chapter/240316158#:~:text=DOI-10.37885/240316158,-Publicado%20em>

Aucapuella, J. (2021). *Revisión Sistemática: Adsorción de Metales Pesados en Aguas Contaminadas usando Carbón Activado*. Lima: Universidad César Vallejo.

Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/75462>

Baretta et. al. (2023). Efectos de la minería en el desarrollo económico y la reducción de la pobreza, en la Región de Cajamarca. *Revista Cuadernos De Trabajo*(21), 96–142. doi:<https://doi.org/10.58211/cdt.vi21.31>

Barragán, E., & López, J. (2021). *Fisiopatología y nutrición*. Editorial Página Seis SA de CV.

Barrenechea, R., & Román, H. (2021). *Uso del carbón activado de Prunus persica y perseae americana para la remoción de arsénico y plomo*. Universidad César Vallejo. Obtenido de

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/83856/Barrenechea_SRR-Rom%c3%a1n_PH-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bobadilla, N., & Leon, M. (2022). *Remoción de Plomo (PB) utilizando biofiltro con carbón activado de la cáscara de coco en el Río Moche Otuzco-2022*. Universidad

César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/105002/Bobadilla_LNF-Leon_TMM%20-%20SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Carlos, R., Mendoza, A., Canaviri, E., Chumacero, J., Delgado, I., & Rossel, M. (2024). Contaminación minera: Un riesgo de salud pública que afecta a la localidad de

San Antonio de la Ciudad de Potosí. *Revista Veritas de Difusión Científica*, 79-99. doi:<https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i2.77>

- Cooperación Suiza. (2023). *Metales pesados en agua para consumo humano: una propuesta para su remoción*.
- Fajardo, S. (2022). *Carbón activado a partir de la cáscara de coco para la remoción de cobre en relave minero metalúrgico, Callao, 2022*. Universidad Nacional del Callao. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/7562>
- Feijoo et. al. (2019). Determinación de la capacidad de adsorción del complejo oro-cianuro en compósitos de carbón activado-vidrio. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 76(588), 299-306. Obtenido de <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/36188>
- Guijarro, A. (2022). *Determinación de la cinética de adsorción y curvas de ruptura de metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) en las sustancias adsorbentes piedra caliza, carbón activo y turba*. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36006/1/BQ%20333.pdf>
- Heidarinejad et. al. (2020). Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(1), 393–415. doi:<https://doi.org/10.1007/s10311-019-00955-0>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES S.A. de C. V.
- Herrmann, C., González, J., & Cruz, M. (2024). *Actualización geológica y económica de recursos minerales de Argentina: Aluminio*. SegemAR.
- Huarancay, J., Otoyá, A., Evangelista, G., & Díaz, N. (2024). *Problemas ambientales y de salud pública*. Religación Press.

- Juliá, F. (2021). *Empleo del proceso Fenton para la regeneración de carbón activado saturado con contaminantes orgánicos*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Kcana, O. (2024). *Determinar los niveles de concentración de metales pesados (Mercurio y Plomo) en leche de vacas en producción de la comunidad Huisa Ccollana de la cuenca de río Ccañipia*. Espinar: Universidad nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Khanyisa et. al. (2020). Geochemical Classification of Global Mine Water Drainage. *Sustainability*, 12(24). doi:<https://doi.org/10.3390/su122410244>
- Machaca, L. (2023). *Diseño del reactor heterogeneo no catalítico gas-liquido experimental para el tratamiento de efluentes gaseosos contaminantes provenientes de plantas industriales*. Universidad Nacional del Callao.
- Mamani, W., Inofuente, W., De la Cruz, D., Zea, N., Salas, R., Mamani, D., & Sucapuca, R. (2019). *Adsorción de Metales Pesados de Aguas Residuales de la Mina Lunar de Oro con Carbón Activado de Lenteja de Agua (Lemna gibba L.)*. Repositorio UNAJ. Obtenido de <http://repositorio.unaj.edu.pe:8080/handle/UNAJ/25>
- Marco, K. (2021). *Prevención de los riesgos por soldadura en los metales pesados*. Universidad Zaragoza.
- Mariana, Mulana, Muchtar, Fadhilah, & Febrina. (2021). *The utilization of activated carbon from Jamblang tree bark to adsorb lead heavy metal ion*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. doi:10.1088/1757-899X/1087/1/012062
- Meseldzja, S., Petrovic, J., Onjia, A., Volkov, T., Nesic, A., & Vukelic, N. (2020). Removal of Fe²⁺, Zn²⁺ and Mn²⁺ from the mining wastewater by lemon peel

- waste. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 1371-1382.
doi:<https://doi.org/10.2298/JSC200413030M>
- Núñez et. al. (2021). Impacto de los efluentes mineros en los macroinvertebrados acuáticos en la cabecera del río Tingo, Cajamarca, Perú : Impact of mining effluents on aquatic macroinvertebrates in the headwaters of the Tingo River, Cajamarca, Perú. *Revista Ciencia Nor@ndina*, 4(2), 95–112.
doi:<https://doi.org/10.37518/2663-6360X2021v4n2p95>
- Ñaupas et. al. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de tesis*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Opazo, P. (27 de Agosto de 2020). *Nacion farma*. Obtenido de <https://nacionfarma.com/metales-pesados-y-sus-efectos-en-la-salud/>
- Orgás, S. (2023). *Estudio comparativo del tratamiento de aguas sucias en un buque ropax y en un crucero. Propuestas de optimización*. Barcelona: Universitat politècnica de Catalunya.
- Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua - Sub sector minería Resolución N° 001-94-EM/DGAA. (2024). *Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua*. OEFA.
- Retka et. al. (2020). The Use of Mining Waste Materials for the Treatment of Acid and Alkaline Mine Wastewater. *Minerals*, 10(12), 1061.
doi:<https://doi.org/10.3390/min10121061>
- Rios, A. (2024). *Estudio a escala laboratorio de una columna de lecho fijo para la remoción de metales del Rio Pallina con Bio Adsorbentes de totora y carrizo*. La Paz : Universidad Mayor de San Andrés.
- Rodriguez, D. (2021). Metales pesados y salud. *Correo Científico Médico*, 25(4).

Rodriguez, L. (2024). *Participación de los metales pesados cobre, hierro y manganeso en las enfermedades neurodegenerativas a dosis no óptimas en el ser humano.*

Ciudad de Mexico : Universidad Nacional Autónoma de México.

Romero, P. (2023). *Medio ambiente y contaminación.* Soluzioninnovative SAS .

Roncal, N., & Villanueva, C. (2021). *Eficiencia del carbón activado de cascarilla de arroz como adsorbente en remoción de metales pesados de efluentes industriales - Cajamarca.* Universidad Privada del Norte.

Royer-Lavallée et. al. (2020). Removal and potential recovery of rare earth elements from mine water. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 89(1), 47-57.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.06.010>

Ruppen et. al. (2021). Community-Based Monitoring Detects Sources and Risks of Mining-Related Water Pollution in Zimbabwe. *Front. Environ. Sci.*, 9.
doi:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.754540>

Saucedo, K. (2021). *Estimación del nivel de riesgo ambiental de aguas ácidas generados por residuos mineros en el río Cañaris, zona de Algamarca - Cajamarca.* Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.

Schwantes, D., Gonçalves, A., Campagnolo, M., Teixeira, C., Dragunski, D., Varennes, A., . . . Conradi, E. (2018). Chemical modifications on pinus bark for adsorption of toxic metals. *Revista de ingeniería química ambiental*, 6(1), 1271-1278.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.01.044>

Semerjian, L. (2018). Removal of heavy metals (Cu, Pb) from aqueous solutions using pine (*Pinus halepensis*) sawdust: Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Environmental Technology & Innovation*, 12(1), 91-103.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.08.005>

Suárez, M. (2024). *Deporte y salud ¿Qué dice la ciencia?* Ediciones Universidad de Barcelona.

Valencia, A. (2020). Tributación del sector minero y recuperación del medio ambiente en Perú, 2011-2016. *Quipukamayoc*, 28(58), 77–85.
doi:<https://doi.org/10.15381/quipu.v28i58.17919>

Wang et. al. (2021). Analysis on the Characteristics of Water Pollution Caused by Underground Mining and Research Progress of Treatment Technology. *Advances in Civil Engineering*, 1(1), 14. doi:<https://doi.org/10.1155/2021/9984147>

Zahoor et. al. (2022). Global research progress on mining wastewater treatment: a bibliometric analysis. *Environmental Science: Advances*, 1, 92-109.
doi:[10.1039/D2VA00002D](https://doi.org/10.1039/D2VA00002D)

Zambrano, H. (2023). *Diseño de un Biofiltro utilizando Lemna Minor (Lenteja de agua) y Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) para la captación de metales pesados (CD, CR Y PB) del Ramal B del estero salado Guayaquil-Ecuador*. Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana Ecuador.

Zhang et. al. (2020). Research progress, problems and prospects of mine water treatment technology and resource utilization in China. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50(4), 331-383.
doi:<https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1629798>

ANEXOS

Anexo 1.

Matriz de operacionalización de la eficiencia del carbón activado vegetal en la remoción de metales pesados en efluentes industrial de la unidad minera, región Cajamarca, 2024

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad
Independiente Carbón Activado obtenido de la corteza de pino (<i>Pinus</i> <i>pátula</i>)	El carbón activado se produce por activación física o química. El objetivo de este proceso es transformar el material carbonoso en un material fuertemente adsorbente aumentando la porosidad interna y desarrollando grupos funcionales específicos (Ahmad y Azam, 2019).	El carbón activado se utilizó como alternativa de solución para remover los metales pesados, se obtendrá mediante el proceso químico utilizando ácido fosfórico y físico con temperatura de 400°C aplicados a la corteza del pino.	Concentración del agente activante	H ₃ PO ₄	%
			Parámetros	Dosis	Gramos
			Caracterización de la corteza del pino	Humedad	%
				Material volátil	%
				Cenizas	%
Carbono fijo	%				
Dependiente Adsorción de metales pesados, del efluente de la unidad minera.	La adsorción es un fenómeno físico en el que un compuesto en fase líquida o gaseosa entra en contacto con un adsorbente sólido y se adsorbe a su superficie por fuerzas físicas, proceso que es reversible ya que no implica intercambio electrónico (Heidarinejad et al., 2020).	La adsorción de los principales metales presentes del efluente en las distintas dosis de aplicación se realizó cuando el carbón activado entre en contacto, evaluando la concentración inicial de metales y la concentración final después del tratamiento.	Concentraciones de metales pesados	Cu	mg/L
				Fe	mg/L
				Pb	mg/L
				Zn	mg/L
				Mg	mg/L
Hg	mg/L				

Anexo 2.

Matriz de consistencia de la eficiencia del carbón activado vegetal en la remoción de metales pesados en efluentes industrial de la unidad minera, región Cajamarca, 2024

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Metodología
<p>General: ¿Cuál es la eficiencia del carbón activado vegetal en la remoción de metales pesados en el efluente industrial de la actividad minera realizada en Pulan-Santa Cruz?</p> <p>Problema específico</p> <p>¿Cuáles son los valores de pH y conductividad del efluente proveniente de la industria minera en Pulan – Santa Cruz?</p> <p>¿Qué porcentaje de remoción de aluminio, cobre, hierro, manganeso, sodio y zinc se obtiene al tratar el efluente minero con carbón activado vegetal?</p> <p>¿Cuál es la dosis más eficiente de carbón activado vegetal para lograr una alta remoción de metales pesados en el efluente industrial minero de Pulan – Santa Cruz?</p>	<p>General: Evaluar la eficiencia del carbón activado vegetal en la remoción de metales pesados en el efluente industrial de la actividad minera realizada en Pulan-Santa Cruz.</p> <p>Objetivo específico Analizar los parámetros fisicoquímicos de pH y conductividad del efluente proveniente de la industria minera en Pulan-Santa Cruz</p> <p>Evaluar el porcentaje de remoción de aluminio, cobre, hierro, manganeso, sodio y zinc del efluente proveniente de la actividad minera industrial en Pulan -Santa Cruz -Cajamarca.</p> <p>Determinar la dosis más eficiente de carbón activado vegetal para la remoción de metales pesados presentes en el efluente industrial minero de Pulan – Santa Cruz.</p>	<p>General: El carbón activado vegetal presenta una eficiencia superior al 90 %, en la remoción de metales pesados presentes en los efluentes de la unidad minera de Pulan – Santa Cruz..</p> <p>Hipótesis específica El efluente proveniente de la industria minera en Pulan – Santa Cruz presenta parámetros fisicoquímicos de pH y conductividad dentro de rangos inadecuados con respecto a ECA. El carbón activado vegetal es una alternativa técnicamente viable porque remueve más del 90 % de los metales pesados provenientes de los efluentes de la unidad minera.</p> <p>La dosis más eficiente es 1 gr de carbón activado vegetal para obtener la mayor remoción de metales pesados contenidos en los efluentes provenientes de la unidad minera.</p>	<p>Independiente: Carbón Activado obtenido de la corteza de pino (<i>Pinus pátula</i>)</p> <p>Dependiente: Adsorción de metales pesados, del efluente de la unidad minera.</p>	<p>Tipo de la investigación aplicada</p> <p>Enfoque de la investigación Cuantitativo</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Población: <i>Pinus pátula</i></p> <p>Muestra: (0.2, 0.50, 0.70 y 1.0 g) de corteza de <i>Pinus pátula</i> y (50, 100, 150 ml) de efluente de la unidad minera</p> <p>Técnica de recopilación de datos: observación, análisis de laboratorio</p> <p>Instrumento de recopilación de datos: ficha de observación y el informe de análisis del laboratorio</p>

Anexo 4.

Rollo fotográfico

Tamizado del carbón



pesado de carbón



Toma de Muestra de agua



Toma de Muestra de agua



Tratamiento del agua



Filtrado del agua



CONSTANCIA DE REVISIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

El/la docente asesor/a Maryuri Vera Eras, de la Universidad Privada del Norte, de la Facultad de ingeniería , carrera profesional de Ingeniería Ambiental, ha realizado el seguimiento en el desarrollo del Proyecto de Investigación del/os estudiante/s:

- Jheny Estefany Cabanillas Meléndez
- Yessica Yanira Espinal Mendoza

Por cuanto considera que los dos primeros capítulos (Introducción y Metodología) de la Tesis titulado “Eficiencia Del Carbón Activado Vegetal Para El Tratamiento De Aguas Contaminadas Por Metales Pesados En Un Efluente Industrial Para La Actividad Minera Realizada En Pulan, Santa Cruz, Cajamarca 2024”, reúne las condiciones adecuadas para continuar con los siguientes capítulos, previo levantamiento de las observaciones indicadas al/los estudiantes/s, las mismas que son (Marcar con un check según corresponda):

Algunos aspectos de forma	
Algunos aspectos de fondo	
Algunos aspectos de fondo y forma	
Aplicar APA 7ma edición	

Por lo que, AUTORIZO la presentación de los dos primeros capítulos de la Tesis a al/los interesados/s/as, recomendando levantar sus observaciones previo al inicio del curso de Taller de Tesis 2.

Ing. /Lic./Mg./Dr. Nombre y Apellidos

Asesor