

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto del tratamiento con conchas de abanico
(Pectinidae) en la concentración de metales
disueltos provenientes de pasivos ambientales
mineros, Huancayo - 2021**

Yomira Milagros Cruz Mendoza
Betsy Yuliza Espinoza Reza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Dr. Ing. Pablo César Espinoza Tumialán

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por encaminarnos en cada momento y fortalecernos para no rendirnos y obtener una de las metas más importantes que tenemos actualmente, nuestra titulación como Ingeniero Ambiental.

Gracias a nuestros padres, por los valores inculcados, por ser los pilares en nuestro crecimiento personal y profesional, por la educación brindada a lo largo de nuestros años, por darnos todos los medios posibles para nuestro desarrollo, por la confianza depositada en nosotras y por ser el ejemplo que queremos seguir.

Agradecemos a toda la plana docente de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental, por transmitirnos su sabiduría, experiencias y consejos a lo largo de nuestra preparación universitaria, en especial al Dr. Pablo Espinoza Tumialán por la dirección, apoyo y confianza en la ejecución de esta tesis.

Muchas gracias a todos.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Pedro Contreras y Elizabeth Mendoza, quienes han sido el pilar de mi vida, que con alegría celebran cada meta cumplida, que me brindan la confianza y las ganas de soñar en alto; a mi abuelita Alejandra por sus sabios consejos; a mi compañera de tesis Betsy Espinoza, por hacer el proceso más fácil y divertido, y a mis grandes amigos que estuvieron de cerca motivándome a crecer personal y profesionalmente, en especial a Jhojan.

Yomira Milagros Cruz Mendoza.

Dedico esta tesis a mis padres Adrián Espinoza y Sonia Reza, quienes han sido el apoyo en mi formación como profesional; a mi hermano Roly Espinoza, con quien compartí toda mi vida y por brindarme la confianza para lograrlo; a mis tíos Delver y Katy, unos hermanos más, y a los grandes amigos con los que compartí todos estos años, en especial a Jhojan Ccaico.

Betsy Yuliza Espinoza Reza.

ÍNDICE

ASESOR	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	4
1.1.2.1. Problema general.....	5
1.1.2.2. Problema específico.....	5
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general	5
1.2.2. Objetivo específico	5
1.3. Justificación e importancia.....	6
1.4. Hipótesis y descripción de las variables.....	6
1.4.1. Hipótesis nula	6
1.4.2. Hipótesis alterna.....	6
1.4.3. Variable independiente	7
1.4.4. Variable dependiente.....	7
1.4.5. Operacionalización de las variables.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9

2.1.	Antecedentes de la investigación.....	9
2.2.	Bases teóricas	14
2.2.1.	Agua residual de mina	14
2.2.2.	Metales pesados tóxicos	15
2.2.3.	Reacción química y biológica relacionada con la generación de agua ácida	18
2.2.4.	Etapas en la formación de aguas ácidas	19
2.2.5.	Categorías de drenajes de mina	21
2.2.6.	Contaminación de agua por metales pesados	22
2.2.7.	Contaminación de suelo por metales pesados.....	23
2.2.8.	Contaminación ambiental	23
2.2.9.	Las conchas de abanico (<i>Pectinidae</i>)	23
2.2.10.	Ciclo de vida de la concha de abanico (<i>Pectinidae</i>).....	24
2.2.11.	Taxonomía de la concha de abanico (<i>Pectinidae</i>)	25
2.2.12.	Morfología de la concha de abanico (<i>Pectinidae</i>)	25
2.2.13.	Componentes químicos de las conchas de abanico (<i>Pectinidae</i>).....	27
2.3.	Definición de términos básicos	28
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		30
3.1.	Método y alcance de la investigación	30
3.1.1.	Métodos de la investigación.....	30
3.1.1.1.	Método general	30
3.1.1.2.	Método específico	30
3.1.2.	Tipo de investigación	31
3.1.3.	Nivel de investigación	31
3.2.	Diseño de la investigación	31
3.2.1.	Tipo de diseño de la investigación.....	31
3.3.	Población y muestra	32
3.3.1.	Población.....	32

3.3.2. Muestra	32
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	32
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos.....	33
3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos.....	33
3.6. Instalación del experimento	33
3.6.1. Preparación de muestras a tratar	33
3.6.2. Material de relleno de la columna.....	34
3.6.3. Columna de tratamiento	35
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	36
4.1.1. Resultados iniciales.....	36
4.1.2. Resultados finales y análisis.....	37
4.2. Discusión de resultados.....	49
CONCLUSIONES.....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
ANEXOS	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas en la formación de aguas ácidas.....	20
Figura 2. Conchas de abanico (Pectinidae).	24
Figura 3. Ciclo de vida de la concha de abanico (Pectinidae).	25
Figura 4. Morfología externa de la concha de abanico.....	26
Figura 5. Morfología interna de la concha de abanico.....	27
Figura 6. Prototipo de percolador casero.	34
Figura 7. Diseño de la columna con Pectinidae.	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables.	7
Tabla 2. Clasificación de las aguas residuales.....	21
Tabla 3. Clasificación de las aguas ácidas en función del pH.	22
Tabla 4. Clasificación de las conchas de abanico.	25
Tabla 5. Tratamiento en estudio.	32
Tabla 6. Resultados iniciales.	37
Tabla 7. Resultados del análisis de acidez del agua después del tratamiento.	37
Tabla 8. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el pH.....	38
Tabla 9. Análisis de varianza para los tratamientos - pH.....	38
Tabla 10. Prueba de Duncan para el pH.....	39
Tabla 11. Resultados de la concentración de cobre después del tratamiento.	39
Tabla 12. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el Cu.....	40
Tabla 13. Análisis de varianza para el Cu.....	41
Tabla 14. Prueba de Duncan para el Cu.....	41
Tabla 15. Resultados de la concentración de Pb después del tratamiento.....	42
Tabla 16. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el Pb.....	42
Tabla 17. Análisis de varianza para el Pb.....	43
Tabla 18. Prueba de Duncan para el Pb.....	44
Tabla 19. Resultado de la concentración de Fe después del tratamiento.....	44
Tabla 20. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el Fe.....	45
Tabla 21. Análisis de varianza para el Fe.....	46
Tabla 22. Prueba de Duncan para el Fe.....	46
Tabla 23. Resultados de la concentración de As después del tratamiento.....	47
Tabla 24. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el As.....	47
Tabla 25. Análisis de varianza para el As.....	48
Tabla 26. Prueba de Duncan para el As.....	49

RESUMEN

Objetivo: determinar el efecto que tiene el tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) en los metales disueltos provenientes del pasivo ambiental de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo, 2021. **Métodos:** se utilizaron tres tratamientos, dos de ellos con la aplicación de conchas de abanico (*Pectinidae*): T1 (metales disueltos sin tratamiento), T2 (metales disueltos con 30 minutos de tratamiento) y T3 (metales disueltos con 60 minutos de tratamiento), dispuestos en un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones. **Resultados:** La muestra inicial de agua presentó las concentraciones de 161,41 mg/L de Cu, 0,734 mg/L de Pb, 6,424 mg/L de Fe, 7,094 mg/L de As y un pH de 3,4; tras el experimento las concentraciones promedio alcanzadas en el T3 fueron: 5,6 mg/L de Cu, 0,2 mg/L de Pb, < 0,001mg/L de Fe, 2,7 mg/L de As y un pH de 6,0. **Conclusión:** El efecto que mostró el tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) en las concentraciones de metales disueltos provenientes de los pasivos ambientales de la Planta Concentradora Yauris, en diferentes tiempos, disminuyó las concentraciones de los metales Cu, Pb, Fe y As en un 96.5 %, 72.8 %, 100 % y 61.9 % respectivamente, y también se mostró que disminuyó la acidez de la muestra significativamente.

Palabras clave: pasivos ambientales, metales disueltos, aguas ácidas, conchas de abanico.

ABSTRACT

Objective: to determine the effect of the column treatment for the removal of fan shells (*Pectinidae*) on the metals dissolved by the mining environmental liability of the Yauris Concentrator Plant, Huancayo, 2021. **Methods:** three treatments were used, T1 (metals dissolved without treatment), T2 (dissolved metals with 30 minutes of treatment) and T3 (dissolved metals with 60 minutes of treatment), arranged in a completely randomized experimental design, with three repetitions. **Results:** the initial water sample had concentrations of 161,41 mg/L Cu, 0,734 mg/L Pb, 6,424 mg/L Fe, 7,094 mg/L As and a pH of 3,4; after the experiment, the average concentrations reached in T3 were: 5,6 mg/L of Cu, 0.2 mg/L of Pb, < 0,001mg/L of Fe, 2.7 mg/L of As and a pH of 6,0. **Conclusion:** the effect shown by the treatment of the removal column by fan shells (*Pectinidae*) in the water contaminated by the environmental liabilities of the Yauris Concentrator Plant, at different times, decreased the concentrations of the metals Cu, Pb, Fe and As in 96.5 %, 72.8 %, 100 % and 61.9 % respectively and it was also shown that it lowered the acidity of the water significantly.

Keywords: environmental liabilities, dissolved metals, acidic waters, fan shells.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas son espacios estructurados por componentes físicos, seres vivos que lo habitan y la interacción que hay entre todos ellos y funcionan en equilibrio, proporcionando servicio para el hombre. Muchos de los servicios ecosistémicos conforman la base de la cadena de los valores más importantes que sostienen la economía del Estado Peruano. En las últimas décadas, el aumento de los casos de impactos ambientales producidos por las actividades mineras, se ha vuelto en una preocupación creciente sobre la manera de como se ha ido desarrollando y controlando esta actividad. La deficiente planificación y evaluación previa, por la técnica inadecuada de las operaciones, el manejo y tratamiento de los minerales y desechos, por el mal manejo de los pasivos ambientales de origen minero y la falta de cumplimiento de los planes de cierre, permitieron identificar una serie de vacíos y debilidades legales en la regulación de la actividad minera, ocasionando deterioro irreparable de ecosistemas, daños a la integridad y a la salud de las personas (1).

En la actualidad, existen diversas tecnologías de tratamientos de aguas residuales que contienen metales, entre ellas las más comunes son: la precipitación, ultrafiltración, osmosis inversa, intercambio iónico y técnicas electroquímicas (2). Estos métodos pueden remover hasta en un 99 % la toxicidad de los metales pesados, sin embargo, estos métodos convencionales no son lo suficientemente efectivos en remover bajas concentraciones de metales que se encuentran disueltos en grandes volúmenes de agua y pueden llegar a ser muy costosos (3), es por ello que surge la necesidad de buscar métodos alternos, como la bioadsorción, que es una tecnología que involucra el uso de biomasa o sustratos naturales para la adsorción de metales que no sólo se caracteriza por el bajo costo y su alta eficacia en remover iones metálicos, sino también porque es posible tratar volúmenes altos de agua con concentraciones bajas de metales pesados y además amigable con el ambiente (4).

Muchas investigaciones recientes sobre la remoción de metales pesados en aguas residuales, realizadas a nivel mundial, revelan la capacidad de remoción de diferente biomasa residual con disponibilidad abundante; algunos de estos son: la cáscara de camarón, la cáscara de semilla de algodón, el bagazo, cáscara de huevo, la cáscara de tamarindo, cáscara de naranja, hoja de maíz, desechos de tallo de uva, entre otros, siendo utilizados para remover cadmio, cromo IV y III, arsénico, plomo, cobre, mercurio, entre otros metales (5). Por otra parte, los materiales marinos como las conchas de ostras, caracoles y camarones han sido validadas como un buen bioadsorbente para la eliminación de

metales pesados debido a su alta porosidad y tenacidad, siendo altamente biodegradables. Las conchas generalmente están compuestas de carbonato de calcio (CaCO_3), o quitina, lo que facilita la remoción de contaminantes en sus superficies activas (6). Se propone en este trabajo de investigación la aplicación de conchas de abanico para la remoción de los metales disueltos generados por el pasivo ambiental.

El presente trabajo presenta los siguientes capítulos: Capítulo I: presenta el planteamiento, formulación del problema, los objetivos, hipótesis, justificación y las variables; Capítulo II: presenta el marco teórico que aborda de los antecedentes, bases teóricas, técnicas e instrumentos de investigación; Capítulo III: presenta la metodología que aborda los métodos y alcances de la investigación, diseño de la investigación, población, muestra y las técnicas de recolección de datos; y Capítulo IV: presenta los resultados, que aborda los alcances iniciales y finales, y la discusión de los resultados de los mismos.

Las autoras.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Desde la revolución industrial, los avances científicos y tecnológicos han evolucionado la capacidad del ser humano para aprovechar y explotar los recursos naturales (7).

La minería es una actividad extractiva cuyo desarrollo constituye un gran soporte para la industria manufacturera y joyería del mundo, no obstante, la generación de conflictos e impactos ambientales son motivos de preocupación en la sociedad, siendo la actividad de mayor alteración al medio ambiente (8).

En la actualidad, la explotación minera a nivel mundial está experimentando un auge nunca antes visto. Las grandes cantidades extraídas de minerales se han multiplicado en forma exponencial, haciendo que los mercados globales de material primas minerales y los metales preciosos aumenten vertiginosamente. La minería en el mundo presenta una alta concentración de la producción de minerales, a nivel país, producto y empresa. En el primer caso, la producción de los países como China, Australia, Estados Unidos, Rusia, Canadá, Turquía, India, Japón, Corea, Indonesia, Perú, Bolivia, Chile, México y Brasil, representan más

del 70 % de la producción mundial. A su vez los productos como la bauxita, aluminio, antimonio, arsénico, baritina, bismuto, borato, bromo, cadmio, cromo, carbón, cobalto, cobre, magnesio, mercurio, molibdeno, fósforo, principalmente, representan 90 % de la producción mundial (9). Las Empresas que sobresalen a nivel mundial son chinas, como Zijin Mining Group Company Limited y China Shenhua Energy Company Limited.

La producción de los minerales y metales en Sudamérica lo albergan los siguientes países: Chile, Bolivia, Brasil, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela. En el 2012, cuatro de los países sudamericanos estaban entre los cinco productores mundiales de los siguientes minerales: Chile era el primer productor de cobre, litio y yodo, el segundo de selenio, el tercero de molibdeno y el quinto productor de plata. Bolivia era el tercer productor de antimonio y el cuarto de estaño. Brasil era el primer productor de niobio, el segundo de mineral de hierro, el tercero de bauxita y el quinto de estaño. Perú era el primer productor de plata, el segundo de zinc, el tercero de cobre y estaño, el cuarto de molibdeno y plomo, y el quinto de oro. Cabe destacar que sólo una empresa de Chile, CODELCO, representa el 33 % de la producción nacional del mineral. El continente sudamericano es, por ello, de extraordinaria importancia para la producción de minerales que necesita el mundo (10).

El Perú es reconocido a nivel mundial por su larga tradición minera, favorecida con una ubicación geográfica estratégica, posee un alto potencial geológico que le permite sobresalir en la producción y reservas minerales, así como proyectos de exploración y construcción de minas. La mayoría de las minas en el Perú, se concentran geográficamente en los Andes, siendo las exportaciones de los principales productos mineros del Perú, el oro, cobre, hierro, zinc, molibdeno, estaño y plata, además de otros minerales (11).

Según la base de la declaración de estadística minera ESTAMIN, al mes de junio del 2021, la producción de los metales, a nivel nacional, registró un importante incremento en plata (36.4 %), zinc (53.3 %), plomo (25.2 %), hierro (113.5 %), estaño (73.4 %), molibdeno (8.2 %), cobre (14.1 %) y oro (8.2 %), sin embargo, las labores mineras y la diversa explotación de los yacimientos de baja concentración generan una gran cantidad de residuos

que son contaminantes para la salud de la población, el ecosistema circundante y de la propiedad. En los últimos años, una lista de accidentes frecuentes, y dramáticas, demuestra de que existe una constante contaminación del ambiente por parte de las empresas mineras que extraen mineral, sus procesos son preocupantes para el ciudadano, por otro lado, la falta de control de pasivos ambientales mineros ha impactado a países de América Latina (12).

La explotación de los minerales en Chile ha ido acrecentando sus procesos extractivos en intensidad y extensión, concentrando sus pasivos en el norte del país, zonas que, por sus características geográficas y climatológicas, poseen escasez hídrica, además, la minería ha provocado altos niveles de contaminación (13).

Ecuador es un país mega diverso por contener en su territorio una variedad faunística y florística, y sobre todo por poseer un gran potencial minero. La provincia de Zamora Chinchipe es una región minera donde se encuentran emplazados diversos proyectos mineros, asimismo, al ser una provincia minera requiere del control, regulación y cuidado ambiental, sin embargo, el no controlar los residuos de los relaves y escombros terminaron afectando al medio ambiente y la población cercana (14).

La industria genera gran cantidad de toneladas de residuos cargados de metales pesados, no siendo favorable para el ecosistema y la sociedad; el gran volumen de desecho generado ha dejado un importante legado de depósitos de relaves por toda la zona del país. El depósito inadecuado de estos residuos mineros, los ha transformado en focos potenciales de contaminación de suelo, agua y aire, imponiendo diversos riesgos ambientales, afectando a la salud humana de la población, a la calidad del medio natural y la seguridad de la población adyacente a los relaves (15).

Los pasivos ambientales mineros constituyen una de las principales fuentes de contaminación del recurso hídrico; la exposición de sulfuros al aire y humedad causan oxidación produciendo ácido sulfúrico, formando así drenajes de aguas ácidas de mina. Muchas de estas aguas ácidas liberan los metales con altas concentraciones de tóxicos elementos (Pb, Cu, Cd, Fe, As, entre otros) los cuales son transportados por los cursos del

agua y pueden llegar por medio de la bioacumulación en la cadena trófica hasta el hombre, siendo un riesgo para el suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas y productos agrícolas (16).

Actualmente existen diversas tecnologías de tratamientos de aguas residuales industriales que contienen altas concentraciones de metales disueltos. La remoción de los metales es una tecnología que se está haciendo uso en diferentes países, que involucra el uso de biomasa o sustratos naturales para la adsorción de metales. Por otra parte, los materiales marinos como las conchas de ostras, caracoles y camarones han sido validados como un buen bioadsorbente para la eliminación de metales pesados, siendo altamente biodegradables.

En el Perú la exportación de la parte comestible de la concha de abanico ha ido aumentando año a año, sin embargo, varios estudios realizados demuestran que los residuos calcáreos no son aprovechados, por ejemplo, en la Planta de Casma (Acuapesca) se generan alrededor de 5 mil toneladas de residuos calcáreos al año, que son depositados sin ser aprovechados (17).

El uso de las conchas de abanico (*Pectinidae*) es adecuado ya que tiene la capacidad de ayudar en la estabilidad en procesos de tratamientos biológicos mediante el refuerzo de la capacidad ácida y fortalecimientos de flóculos. Su principal componente es el carbonato cálcico, lo que significa que está formado por tres elementos distintos: calcio, carbono y oxígeno. Siendo muy abundante en la naturaleza, a la vez permite remover metales pesados, eliminar bacterias y purifica el agua (18).

A todo este problema, es necesario dar soluciones y/o alternativas que ayuden a restablecer los impactos significativos de contaminación de suelo, agua, aire y el ecosistema. Para realizar un tratamiento de los suelos contaminados con metales pesados, es importante evaluar alternativas y utilizar tecnologías o metodologías para extraer los contaminantes (19).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Qué efecto tiene el tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) en la concentración de metales disueltos provenientes del pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris¹, Huancayo, 2021?

1.1.2.2. Problema específico

¿Qué efecto tiene el tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) en la acidez de la muestra contaminada por metales disueltos provenientes del pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo, 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el efecto que tiene el tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) en la concentración de metales disueltos provenientes del pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo, 2021.

1.2.2. Objetivo específico

Determinar el efecto que tiene el tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) en la acidez de la muestra contaminada por metales disueltos provenientes del pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo, 2021.

¹ Planta Concentradora de Yauris, registrado en el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Perú con el ID: 1449, Código de derecho minero: 010247198, Nombre derecho minero: Julio V, Nombre titular: Vera Abad, Cesar Jesús.

1.3. Justificación e importancia

A pesar de los beneficios económicos de la minería, es inherentemente destructiva si no se llegan a tomar las medidas adecuadas de protección al entorno ambiental; con una sola operación minera, se puede provocar efectos nocivos que pueden provocar un impacto severo en el medio ambiente.

Si bien es cierto existen reglamentos para minimizar el daño de los pasivos ambientales, sin embargo, muchas de las empresas no lo consideran, sabiendo que la minería tiene el potencial de alterar el ecosistema y acabar con las poblaciones de vida, animal, vegetal y humana.

Actualmente, el pasivo ambiental de la Planta Concentradora Metalúrgica de Yauris se encuentra abandonada, y viene afectando de manera perceptible al aire, agua, suelo, flora, entre otros, generando impactos negativos significativos. Esta propiedad, está siendo lotizada para la construcción de las viviendas, sin importar que el área contiene elementos peligrosos que constituye un peligro potencial debido a su difícil y lenta eliminación del ecosistema. Como objetivo de la tesis, se pretende determinar el efecto que tiene el tratamiento en columna de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*) en los metales disueltos por el pasivo ambiental minero y sea base para futuras investigaciones respecto a los pasivos ambientales que hoy por hoy son abandonados sin tener ningún tratamiento adecuado.

1.4. Hipótesis y descripción de las variables

1.4.1. Hipótesis nula

H_0 : El tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) no tiene efecto significativo en los metales disueltos provenientes del pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo, 2021.

1.4.2. Hipótesis alterna

H₁: El tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) tiene efecto significativo en la concentración de los metales disueltos provenientes del pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo, 2021.

1.4.3. Variable independiente

Tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*).

1.4.4. Variable dependiente

Metales disueltos provenientes del pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris.

1.4.5. Operacionalización de las variables

Tabla 1. *Operacionalización de las variables.*

Tipo de variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Variable independiente	Tratamiento con conchas de abanico (<i>Pectinidae</i>). Es el uso de conchas de abanico (<i>Pectinidae</i>) en el tratamiento de metales disueltos que ejerce una influencia positiva en la concentración de los mismos, en muestras.	Columna empacada con <i>Pectinidae</i> .	Masa de <i>Pectinidae</i> en columna empacada.	g
		Retención del drenaje.	Tiempo de retención del drenaje.	min
		Drenaje ácido percolado.	Volumen de drenaje ácido percolado.	L

		Pasivos ambientales			
		mineros se caracterizan por ser formadores de drenaje ácido de roca (DAR) de elevada acidez y de un alto contenido de metales pesados disueltos, debido a que los residuos mineros presentan como principal característica, componentes sulfurosos en su composición.			
Variable dependiente	Metales disueltos provenientes del pasivo ambiental.		Metales disueltos en pasivos ambientales.	Concentración de metales relevantes: Pb, Fe, Cu, Zn.	mg/L

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En el trabajo de investigación titulado: “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”, se tuvo por objetivo determinar la eficiencia de remoción de los metales pesados en las aguas ácidas mediante la aplicabilidad de la dolomita como agente remediante. Se realizó un trabajo experimental con pruebas de 10 g y 25 g de dolomita para 500 ml de aguas ácidas, donde los valores de pH en las P1 era 1,91 y P2 era 1,96; con la dosificación de 25 g de dolomita mejoró hasta lograr un pH de 7,19 y 7,35 respectivamente. La muestra inicial de los metales superaba en gran parte el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua de Categoría 4, sin embargo, con la aplicación de los 25 g de dolomita en la P1 descendió mucho más el contenido de plomo, hierro, cobre y zinc en 0,0006 mg/L, 0,3002 mg/L, 0,03452 mg/L y 8,1359 mg/L respectivamente, para el caso del P2 descendió el plomo, hierro, cobre y zinc en 0,0021 mg/L, 0,2449 mg/L, 0,02479 mg/L, 6,7898 mg/L respectivamente, por lo tanto, la dosis de 25 g de dolomita es adecuada para 500 ml de aguas ácidas para cumplir los ECA para agua de Categoría 4, además la dolomita ha demostrado ser eficiente en la remoción de los metales (20).

En el trabajo de investigación titulado: “Remoción de Cr^{+6} usando partículas de hoja de bambú”, se tuvo como objetivo determinar la capacidad de adsorción del bambú frente al Cr^{+6} en aguas contaminadas. Para la obtención de las partículas, se realizó

una molienda manual y una separación del producto en mallas #30 y #50 previamente lavado con H₂O destilada y C₂H₆O al 70 % durante un tiempo determinado, se realizó una deshidratación utilizando un secador solar, con la finalidad de eliminar un porcentaje de humedad. En el experimento se utilizó un volumen de 5 ml de las dos concentraciones (10 y 25 ppm) con un tiempo de contacto de 1, 15, 30, 45 y 60 minutos, con masas de partículas de hojas de bambú (25 y 50 mg), con un pH de 3 y agitación constante, teniendo un total de 24 repeticiones. Se utilizó la metodología descrita por Severiche y Gonzales, que realizaron su investigación el 2013, para la determinación del porcentaje de remoción. Las remociones variaron desde un 59 % hasta un 85 % de adsorción de Cr⁺⁶, observando que los porcentajes más altos de tratamiento corresponden a una concentración de 25 ppm, con un tamaño de partícula 0.595 mm, agregando 25 mg de masa del adsorbente (21).

En el trabajo de investigación titulado: "Efecto del tamaño de partícula en la adsorción del Pb (II) utilizando olote de maíz", se tuvo por objetivo realizar una evaluación de la capacidad de remoción de Pb (II) mediante la cascara de olote con dos tamaños de partícula. El uso de bioadsorbente para la remoción de metales, es una alternativa viable y de bajo costo. En la investigación se utilizó olote de maíz con dos tamaños de partículas para determinar la remoción del metal empleando diferentes concentraciones. El área superficial para la malla #325 resultó mayor (2,8 m²/g). Para la adsorción se realizaron utilizando un sistema por lotes con un pH = 5 y una temperatura constante (25°C). Los resultados del porcentaje de remoción para la malla (< 0.044 mm) fue de 90 % y para el tamaño de partícula entre las mallas número 60 y 40 (0.42 - 0.25 mm, respectivamente) el porcentaje de remoción fue menor, 65 %. Asimismo, se realizó un estudio de IR y los grupos funcionales encontrados están asociados con las señales características de la celulosa, lignina y hemicelulosa (22).

En el trabajo de investigación titulado: "Tratamiento integral de remediación de efluentes de aguas provenientes de la presa de relaves de Cerro Verde a través del proceso de precipitación de iones metálicos con dolomita como agente remediante", se tuvo como objetivo la remediación de efluentes a través del proceso de precipitación de iones metálicas con dolomita. Se realizaron varias pruebas metalúrgicas experimentales de la presa de relaves de Cerro Verde donde se logró reducir las concentraciones del ion del cobre disuelto presente en los efluentes. El

mineral de dolomita, es una alternativa de solución en la remediación de los efluentes metalúrgicos, siendo un mineral no metálico de carbonato doble de calcio y magnesio que es un efectivo reactivo de remediación, debido a sus diferentes propiedades fisicoquímicas, una de ellas es la neutralización de los metales, siendo más eficiente que la cal para neutralizar la capacidad de generación de acidez que poseen los metales pesados (23).

En el trabajo de investigación titulado: "Tratamiento de aguas ácidas con dolomita para disminuir la concentración de Cu y Zn en efluentes de la Planta Concentradora Victoria en la provincia de Yauli - La Oroya", se tuvo como objetivo evaluar el efecto de la dolomita en las concentraciones de Cu y Zn provenientes de la Planta Concentradora. Se presenta una alternativa para el tratamiento de los efluentes; el uso de la dolomita mineral en la planta concentradora Victoria en la ciudad de Yauli - La Oroya, favorece de manera extraordinaria en la remoción de metales pesados como cobre y zinc, ayudando a mejorar la calidad de agua de los efluentes de la planta. La dolomita, al ser un compuesto de carbonato doble de calcio y magnesio (CaCO_3 , MgCO_3 respectivamente), ayuda a neutralizar las aguas que presentan pH ácido, donde la remoción de iones metálicos se ve favorecido por la capacidad adsorbente de la dolomita. Los experimentos que se llevaron muestran la reducción de sus concentraciones de los metales de Cu y Zn de 42.270 ppm hasta 2.075 ppm y de 202.465 ppm hasta 5.53 ppm respectivamente (24).

En el trabajo de investigación titulado: "Tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos con énfasis en el abatimiento de cobre con dolomita", tuvo como objetivo demostrar que la dolomita posee propiedades fisicoquímicas óptimas para el tratamiento de remediación de efluentes metalúrgicos. Se realizaron las pruebas a nivel laboratorio donde se muestra el proceso de tecnología de limpieza de la dolomita calcinada y sin calcinar, como alternativa de solución en remediación de efluentes metalúrgicos mediante pruebas experimentales, logró reducir las concentraciones del ion de cobre disuelto presente en los efluentes provenientes del de la Planta Concentradora. Los resultados de la presente tesis, nos permite afirmar que el peso óptimo de la dolomita es de 2 g en estado sin calcinar donde se determinó que para un volumen de efluente metalúrgico de flotación de 100 ml, la concentración inicial de 0,269 g/L (269 ppm) se redujo hasta el valor de 0,007 g/L (7 ppm), con un porcentaje de reducción de 97.39 % en un tiempo óptimo de 20 minutos y con una agitación de 700 rpm. Por otra parte, el peso óptimo de la

dolomita natural de Tingo María es de 2 g en estado calcinado a 1 000°C, que para un volumen de efluente de 100 ml la concentración inicial de 0,561 g/L (561 ppm) se redujo hasta el valor de 0,031 g/L (31 ppm), con un porcentaje de reducción de 94.5 % en un tiempo óptimo de 10 minutos y con agitación de 525 rpm (25).

En el trabajo de investigación titulado: “Impacto de los pasivos ambientales, mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima”, se planteó como objetivo determinar el impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac. Se analizó de manera exploratoria la cantidad de arsénico, cadmio, hierro, zinc y manganeso en el recurso hídrico y el efecto que tiene en la agricultura. Muchas de estas aguas ácidas liberan metales y metaloides como plomo, cadmio, cobre, entre otros, los cuales son transportados por los cursos de aguas y pueden llegar al ser humano por medio de la bioacumulación y de difícil eliminación del organismo. Al realizarse el estudio, se encontró que los relaves mineros contienen sulfuros, que aportan con elementos tóxicos a los ríos Aruri y Rimac, superando los Límites Máximos Permisibles del estándar del Estado de Oregón, Estados Unidos, que son más estrictos respecto al criterio peruano, sobre todo con el arsénico que es totalmente tóxico (26).

En el trabajo de investigación titulado: “Multifuncionalidad de un compuesto concha de abanico – arcilla y almidón en la purificación natural del agua como función de las proporciones de su conformación”, se planteó como objetivo reducir la turbiedad, *Escherichia coli* y arsénico del agua superficial de 3 distintos ríos para lo cual realizaron 4 compuestos con distintas concentraciones a 1:1:1, 2:1:1, 3:1:1 y 3:2:1, habiendo realizado un análisis previo a estos compuestos se obtuvo que las conchas de abanico poseen mayor cantidad de óxido de calcio con un 97.4 %. Se concluyó que el polvo activado de conchas de abanico remueve un 99.55 % de la turbiedad, 99.75 % de *E. coli* y un 98.10 % de arsénico (27).

En la tesis titulada: “Evaluación de la capacidad de biosorción de plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallo de rosas) como adsorbente”, se planteó como objetivo evaluar la capacidad de biosorción de plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallo de rosas) como adsorbente. Para la eliminación de metales pesados se evaluó la remoción de Pb (II) donde se realizó activación química a la biomasa tallo de rosas con un proceso de hidrólisis ácida seguida de una hidrólisis alcalina (TRHS). Como alternativa para la eliminación de metales pesados y el

aprovechamiento de estos residuos vegetales, se evaluó la capacidad de adsorción y la eficiencia de remoción de Pb (II). Se realizó ensayos batch, para analizar el efecto del pH en la adsorción, concentración del adsorbato y adsorbente y tiempo de contacto en que alcanza el equilibrio. Los resultados obtenidos mostraron que la adsorción de Pb (II) fue dependiente del pH siendo el pH óptimo de 4. En todos los ensayos, se lograron remociones de Pb (II) superiores al 97 % (28).

En la tesis titulada: “Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje”, se planteó como objetivo determinar la máxima capacidad de adsorción de los carbones activados a partir de semillas de aguaje, que fueron empleadas como un mineral precursor para la reparación de carbón usando ácidos fosfóricos como agente activante en diferentes concentraciones. Para saber sus propiedades fisicoquímicas, se estudiaron mediante mediciones de adsorción de nitrógeno, abarcando al método de Boehm. Los carbones activados se utilizaron en la adsorción de tres metales pesados: cromo, cadmio y plomo. Se pudo observar que la máxima adsorción se logró utilizando el carbón activado AGO, 75_600 con soluciones con un pH mayor a 4, obteniéndose como resultado lo siguiente: cadmio (26,5 mg/g), plomo (74,8 mg/g) y cromo (18,8 mg/g). Los factores más importantes que influyen en el proceso de adsorción fueron el pH de la solución, acidez superficial del carbón activado y la estructura porosa (29).

En la tesis titulada: “Estudio de la viabilidad técnico-ambiental de la aplicación de pellets basados en valvas de conchas de abanico y exoesqueletos de langostinos como adsorbentes para la remoción de metales pesados en agua”, se planteó como objetivo evaluar la viabilidad de la aplicación pellets como adsorbentes para la remoción de metales pesados en aguas. El polvo de las conchas de abanico contiene en su composición carbonato de calcio y la quitina posee grandes propiedades de adsorción de contaminantes. El pellet más efectivo, luego de las pruebas de laboratorio, resultó siendo de la siguiente composición: 30 % de quitina y 70 % de conchas de abanico removiendo a los 90 minutos el 20 % de arsénico (29).

En la tesis titulada: “Biosorción de arsénico con biomásas derivadas de las cascarras de banano, arroz y coco en aguas excedentes de plantas de beneficio”, se planteó como objetivo encontrar la opción práctica para disminuir el grado de contaminación, producido por actividad minera. La muestra de agua fue tomada en

la zona de descarga de residuos mineros del río Amarillo del cantón Portovelo. Para el estudio la dosis de concentración de biomasa adsorbentes fue: 50 y 100 g de cáscara de banano, 20 y 50 g de coco y 100 g de arroz, cada tratamiento mezclado con 500cc de muestra de agua, en cambio para el tratamiento de 99 g de mezcla de biomasa seca de cáscaras de banano, arroz, coco, la mezcla con la muestra de agua fue de 1000cc, cada una de las biomosas con su respectivo tamaño de partícula (malla #10, #20 y #40). La determinación del tiempo en la adsorción del metal arsénico (As), fue ensayada en dos momentos 4 y 8 horas con agitación y pH = 5 del agua muestra. Los resultados de adsorción del metal pesado arsénico (As) fueron de alto impacto bajo los tres tipos de biomosas aplicados (30).

En el trabajo de investigación titulado: “Influencia del tiempo de contacto y del tamaño de partícula de pectina de naranja (*Citrus sinensis*) en la disminución del contenido de hierro (Fe) en efluentes mineros”, se tuvo como objetivo determinar la influencia del tamaño de partícula de pectina de naranja y el tiempo de contacto en la disminución del contenido de hierro en aguas ácidas de los relaves mineros procedentes del centro minero de Quiruvilca, a un inicio la concentración de Fe fue de 540.52 ppm. Los efluentes se sometieron a diferentes tratamientos, obteniendo una mayor remoción de Fe con el mayor tamaño de partícula y con el menor tiempo de contacto en agitación (4 horas), con una reducción del 54 % con respecto a la concentración inicial de Fe (31).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Agua residual de mina

El agua residual de mina consiste en efluentes o formaciones de aguas de gran acidez, por lo general ricas en sulfatos y con contenidos variables en metales pesados. Son las principales fuentes de contaminación del agua superficial y subterránea. Dicho drenaje se desarrolla a partir de la lixiviación de sulfuros metálicos, como es el caso de la pirita presente en carbones. Para ello existen dos fuentes principales: el mineral sulfurado y las escombreras (32).

La presencia de sulfuros en los residuos mineros y la consecuente formación de drenajes ácidos de mina (DAM) con altos contenidos de metales pesados, han sido reconocidos ampliamente como uno de los grandes problemas para el hombre, la fauna y la vegetación (33).

Los drenajes ácidos de mina además de un bajo pH contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales pesados (Pb, Hg, Cd, Ni, Fe, Al, Mn, Zn, Cu) del orden de varios cientos de miligramos por litro. Mientras que la roca fuente esté expuesta al aire y al agua, el ácido lixiviará, este proceso continuará hasta que los sulfatos sean extraídos completamente; esto puede durar miles de años. El ácido es transportado por el agua, las lluvias o por las corrientes superficiales y depositados en los ríos, lagos y mantos acuíferos (34).

2.2.2. Metales pesados tóxicos

Los metales pesados son elementos metálicos con un número atómico superior a 20, además de ser bioacumulativos. En dicha idea, no todos los metales pesados son tóxicos, es más, algunos son buenos y esenciales para la salud. Entre ellos se tiene elementos necesarios para el crecimiento, desarrollo y funcionamiento adecuado de los organismos vivos (por ejemplo: cobre, zinc, cromo, hierro) y aquellos que son innecesarios para ellos (incluidos el cadmio, el plomo y el mercurio), sin embargo, su característica común es que, más allá de cierto límite, son tóxicos y muy peligrosos para las plantas, los animales y los seres humanos. Los metales pesados tóxicos dependen principalmente del grado de contaminación, la ruta de introducción del cuerpo, el tipo de interacción con otros metales o la condición fisiológica del organismo (35).

- Cobre: “es un metal de color rojizo, que tiene la capacidad de transportar electricidad y calor. Se encuentra en la naturaleza como metal nativo y también en forma de minerales sulfurados como la calcopirita, óxidos cuprosos, entre otros” (36).

- Efectos ambientales: la presencia de cobre en los suelos, disminuye la biomasa y la actividad microbiana provocando un menor rendimiento, esto conlleva a una pérdida de la fertilidad de los suelos y daños al ecosistema. En el medio ambiente se puede observar aquellas rocas que contienen más altos niveles de Cu, al ser acumulado en las plantas altera su normal desarrollo, lo cual produce lesiones en las raíces e inhibe el crecimiento radicular.
 - Efectos en la salud: los niveles altos de cobre pueden ser dañinos para el ser humano, al inhalar el cobre puede provocar irritación en la garganta y la nariz. La ingestión de niveles altos puede provocar diarrea, vómitos y náuseas, y a cantidades muy altas puede dañar los riñones e hígado provocando la muerte.
- Plomo: entre los metales más pesados, el plomo es el más abundante en la corteza terrestre, ya que se encuentra en todas las rocas de la corteza terrestre. Es considerablemente tóxico; además, es un contaminante bioacumulable frecuentemente en lodos, limos, sedimentos que pueden llegar a los suelos impidiendo el crecimiento usual de las plantas, síntesis de su clorofila, siendo mayor aún la consecuencia cuando se inserta a la cadena alimenticia (37).
 - Efectos ambientales: el plomo no es esencial para el crecimiento de las plantas; sin embargo, está omnipresente en los suelos y agua, teniendo a acumularse cerca de la superficie del suelo y alterando sus ciclos naturales.
 - Efectos en la salud: el plomo es un metal pesado contaminante, no biodegradable. La elevada disponibilidad es capaz de afectar a los organismos y sistema del cuerpo humano, el metal puede ser absorbido por vía digestiva, respirando, incluso por la piel, permaneciendo en la sangre aproximadamente 30 días, así distribuyéndose por el sistema nervioso central.
 - Arsénico: se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza, siendo extremadamente tóxico para plantas, animales y seres humanos. Si bien el As es un metaloide generado por las industrias,

también puede ser encontrado de forma natural en los suelos en grandes concentraciones. Debido a las actividades humanas, mayormente a través de la minería, el arsénico se encuentra en muchos lugares en donde no existía de forma natural, la ingestión de aguas contaminadas con este metaloide puede provocar algunas enfermedades epiteliales y alteraciones al ecosistema (38).

- Toxicidad: el arsénico es absorbido por la vía digestiva, respiratoria e incluso por la piel, siendo la vía oral es la principal ruta de exposición del arsénico; los compuestos absorbidos se almacenan principalmente en el hígado, pulmón y tejido nerviosos, que con el tiempo incluyen cambios de pigmentación, lesiones cutáneas y las plantas de los pies “hiperqueratosis”.
 - Efectos ambientales: el arsénico es un componente extremadamente duro de convertirse en productos soluble en agua o volátil. Debido a las actividades mineras y la fundición, el arsénico inmóvil se ha movilizado y puede ser ahora encontrado en muchos lugares donde se encontraban de forma natural. Algunas plantas tienen la capacidad de absorber metales pesados e integrarlos en algunos órganos sin perjudicar su fisiología.
 - Efectos sobre la salud: el arsénico es uno de lo más tóxicos, se encuentran en la tierra naturalmente en pequeñas cantidades, el ser humano puede estar expuesta a través del agua, aire y comida, que puede causar varios efectos como es la irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blanco e irritación de los pulmones. Toda exposición a dosis elevadas puede causar la muerte.
- Hierro: se encuentra en la naturaleza en forma de minerales, principalmente compuesto por los óxidos. Este metal al estar en contacto con el agua se oxida formando hidróxidos, estos compuestos tiñen el agua de color rojizo además de tener un olor desagradable y de reducir el flujo normal del agua (39).

- Efectos ambientales: el hierro en las plantas es un micronutriente esencial para su desarrollo, porque interviene en la síntesis de la clorofila. Las plantas usan diversos mecanismos para absorber el hierro y llevar normal su desarrollo, sin embargo, cuando hay exceso de hierro lo que produce en las hojas de las plantas es la aparición de manchas marrones y perjudica las cosechas al no permitir la correcta absorción de fósforo.

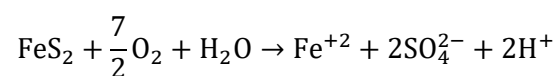
2.2.3. Reacción química y biológica relacionada con la generación de agua ácida

Los elementos que intervienen en la generación de aguas ácidas son:

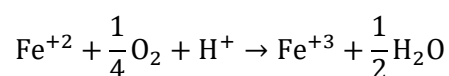
- Minerales sulfurosos.
- Bacterias y temperaturas.
- Agua o humedad de la temperatura.
- Un oxidante, oxígeno proveniente del aire.

Lo único que puede detener la generación de agua ácida es la total exclusión de la humedad o del oxidante. Asimismo, la actividad bacteriana juega un papel importante en la velocidad de generación ácida.

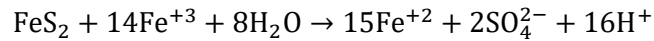
A continuación, se explica las reacciones que se producen en la generación ácida a partir de la oxidación de la pirita (FeS_2), por ser uno de los sulfuros minerales más comunes que acompañan a las menas de interés económico (40). Estas reacciones son:



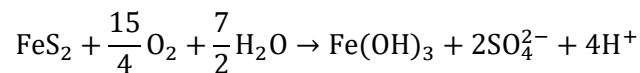
Los compuestos disueltos Fe^{2+} , SO_4^{2-} e H^+ representan un incremento en el total de sólidos disueltos y de la acidez del agua, a menos que sea neutralizado el incremento de la acidez, estará asociado con una disminución del pH. Si el ambiente circundante es suficientemente oxidante, mucho de los iones ferrosos se oxidarán a iones férricos.



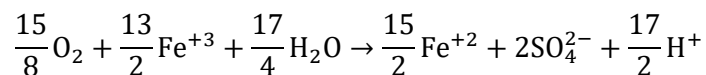
Algunos cationes férricos (Fe^{3+}) que no precipitan en la solución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita (catálisis) y formar nuevamente iones ferrosos, sulfato e hidrógeno.



Basados en estas reacciones básicas simplificadas, la generación ácida que produce el hierro de la pirita el cual eventualmente precipita como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ puede ser representada por la siguiente reacción:



La reacción final para estabilizar el ion férrico formado a partir de la oxidación de la pirita sería:



Otros minerales sulfurosos, tales como la calcosina Cu_2S que tiene diferente relación de oxidación, reacciona de forma diferente a la pirita, marcasita y pirrotina (sulfuros con cristalización framboidal) que son fáciles de oxidarse, por lo tanto, tienen diferentes caminos de reacción estequiométrica y velocidades de reacción.

2.2.4. Etapas en la formación de aguas ácidas

Los drenajes ácidos generan problema de contaminación y degradación de los ecosistemas. Una forma de evitar la formación ácida es la neutralización de las mismas, en este sentido la oxidación de una tonelada de pirita produce casi una tonelada de hidróxido férrico y cerca de tonelada y media de ácido sulfúrico (41).

El proceso de formación de aguas ácidas, en su conjunto, también se puede explicar en tres etapas como se observa en la figura 1.

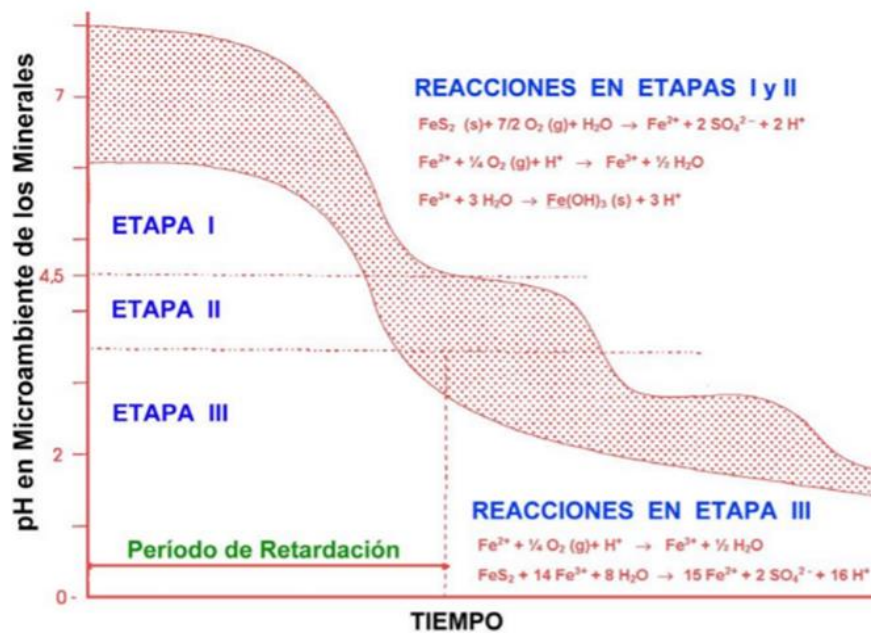


Figura 1. Etapas en la formación de aguas ácidas.

Fuente: Aduvire (2006).

- 1ª etapa: la oxidación de minerales sulfurosos libera hierro ferroso que bajo condiciones neutras se oxida químicamente y se transforma a hierro férrico que precipita como hidróxido y aporta acidez al medio. En esta etapa del proceso la velocidad de oxidación es baja en los dos mecanismos de generación ácida (directa e indirecta) y la formación de aguas ácidas por oxidación debida al aire y a las bacterias (fundamentalmente *Thiobacillus ferrooxidans*) se producen a un ritmo semejante. Por lo general, la alcalinidad disponible en el medio es suficiente para neutralizar parcialmente la acidez que se ha producido lentamente.
- 2ª etapa: la acidez acumulada supera la capacidad de neutralización del medio y el pH desciende y predomina la oxidación de la pirita por la acción bacteriana. En la reacción se produce el sulfato ferroso que al ser oxidado nuevamente se transforma en sulfato férrico, y éste a su vez en contacto con el agua da lugar al ácido sulfúrico y al hidróxido férrico, que es insoluble y es el que provoca la coloración amarilla de las aguas. En esta etapa disminuye la eficacia del mecanismo directo (oxidación por el aire) y aumenta mucho la del indirecto.

- 3ª etapa: cuando el pH desciende por debajo de 3 en la proximidad de los granos de pirita (aproximadamente 4,5 en el agua), el ion férrico se ve afectada por las reacciones de oxidación-reducción y la acción bacteriana puede lixiviar el sulfuro de hierro directamente a sulfato. En esta etapa varía la generación de ácido al aumentar la solubilidad del hierro y disminuye la precipitación de hidróxido férrico. En síntesis, el *Thiobacillus ferrooxidans* oxida el ion ferroso a férrico que a su vez oxida a los sulfuros (pirita) produciendo más ácido.

2.2.5. Categorías de drenajes de mina

Independientemente de la fuente que da origen a la formación de las aguas ácidas, estos drenajes se pueden subdividir en dos grandes grupos:

- Drenaje alcalino o aguas residuales con bajo potencial de solubilización.
- Drenajes ácidos o aguas residuales con alto potencial de solubilización.

En 1968 se hace una clasificación de las aguas residuales de mina en función a su pH, agrupándoles en 6 categorías (42).

Tabla 2. Clasificación de las aguas residuales.

CLASE	pH
Altamente ácidas	1,5 a 4,5
Blandas, ligeramente ácidas	5,0 a 7,0
Duras, neutras a alcalinas	7,0 a 8,5
Blandas, alcalinas	7,5 a 11,0
Muy salinas	6,0 a 9,0
Blandas ácidas	3,5 a 5,5

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta el pH del drenaje y los contenidos de metales, éste puede agruparse en cuatro tipos (tabla 3).

Tabla 3. *Clasificación de las aguas ácidas en función del pH.*

CLASE	pH	DESCRIPCIÓN
Ácido	< 6	<ul style="list-style-type: none"> • Acidez generada por oxidación de minerales, particularmente de sulfuros. • Nivel de metales disueltos es mayor que en drenajes casi neutros. • Asociado a minas metálicas, carbón y piritas.
Alcalino	> 9 o 10	<ul style="list-style-type: none"> • Alta alcalinidad generada por disolución de minerales básicos, particularmente óxidos, hidróxidos y algunos silicatos. • Niveles de algunos metales como el Al son mayores que en los drenajes casi neutros. • Asociados con minería de diamantes, molienda de bauxita, cenizas de combustión de carbón.
Casi neutro	6 - 9 o 10	<ul style="list-style-type: none"> • Dependiendo de la abundancia de los minerales, en determinados períodos pueden ser ácidos o alcalinos. • Concentración de metales disueltos algunas veces pueden exceder niveles tóxicos.
Otros	Irrelevantes	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden afectar la concentración de metales. • Asociado a minería no metálica como: potasa, sales, boratos, bentonitas, gravas, arcillas, etc.

Fuente: elaboración propia.

2.2.6. Contaminación de agua por metales pesados

La contaminación minero-metalúrgica se da por la explotación de los recursos minerales, que se encuentran en la superficie, en los lechos de los ríos, en el subsuelo y en el fondo del océano, siendo una actividad de la cual depende el bienestar de la humanidad. La capacidad de extraer minerales con frecuencia da lugar a modificaciones del ecosistema superando su capacidad de auto depuración, es ahí donde hablamos de contaminación ambiental (43).

En la región de La Libertad, la principal contaminación es el agua, porque los relaves son arrojados a los ríos y al mar por las empresas mineras. La contaminación que se ve en el río Moche es preocupante.

Fuentes de contaminación:

- Efluentes emitidos a la atmósfera por las operaciones mineras y metalúrgicas.

- Efluentes líquidos generados en los procesos metalúrgicos.
- Efluentes líquidos de las canchas de relaves, botaderos.

2.2.7. Contaminación de suelo por metales pesados

Los suelos que quedan tras una explotación minera, contienen todo tipo de residuos, lo que es grave para el desarrollo de la cubierta vegetal, teniendo las características más notables: ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, clase textural desequilibrada, disminución de nutrientes, baja retención de agua, ruptura de los ciclos biogeoquímicos y presencia de compuestos tóxicos; la concentración de los metales en la solución suelo afectan la disponibilidad, va depender se la naturaleza del metal, su interacción con los coloides del suelo, propiedad del suelo y el tiempo de contacto con el metal. Las características del suelo juegan un papel importante en aumentar o reducir la toxicidad de los metales en el suelo (44).

2.2.8. Contaminación ambiental

Es la introducción de cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún desequilibrio, irreversible, o no, en el medio. Para que haya contaminación, la sustancia contaminante deberá estar en cantidades relativamente suficientes como para provocar ese desequilibrio. La contaminación ambiental puede provocar efectos nocivos sobre la biosfera (45).

El crecimiento poblacional, su concentración en grandes centros urbanos y el desarrollo industrial, provocan día a día más problemas al medio ambiente, provocando alteraciones en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

2.2.9. Las conchas de abanico (*Pectinidae*)

Es caracterizado por presentar una concha orbicular, con valvas no uniformes. A su vez presenta costillas radiales con un número variable de 23 a 26 por valva, presenta una coloración rosácea (ver figura 2). Cabe mencionar que estos animales son hermafroditas, es decir que un individuo posee ambos sexos; además son muy buenos filtradores ya se alimentan filtrando gran cantidad de fitoplancton (46).



Figura 2. Conchas de abanico (*Pectinidae*).

Fuente: FAO (2017), adaptado por Valera (2018).

2.2.10. Ciclo de vida de la concha de abanico (*Pectinidae*)

El ciclo de vida de las conchas de abanico comprende cuatro fases: huevo, larva, juvenil y adulto. La primera fase es planctónica y presenta tres estadios: trocófera (larva ciliada con un flagelo), veliger (con velo u órgano ciliado nadador) y pediveliger que se caracteriza por la segregación de la disconcha y del pie que le sirve para adherirse al sustrato adecuado (46).

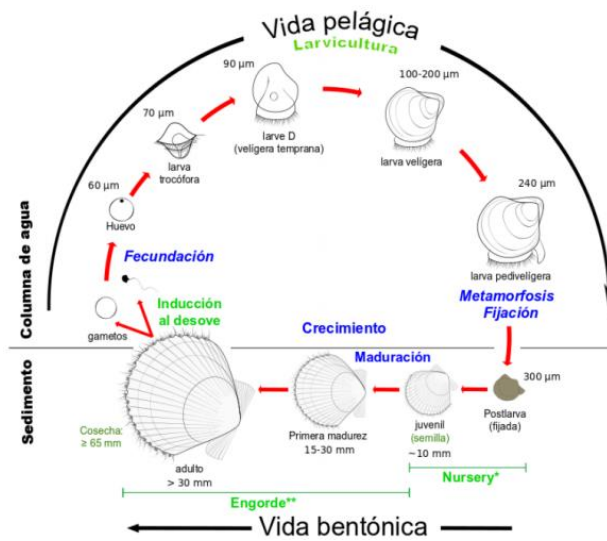


Figura 3. Ciclo de vida de la concha de abanico (*Pectinidae*).

Fuente: Aguirre-Velarde y Flye-Saint-Marie (2019).

2.2.11. Taxonomía de la concha de abanico (*Pectinidae*)

Tabla 4. Clasificación de las conchas de abanico.

Reino:	Animal
Phylum:	Mollusca
Clase:	Bivalvia
Orden:	Ostreoida
Género:	Pectinoidea
Especie:	Pectinidae

Fuente: Lamarck (1819), citado por Valera (2018).

2.2.12. Morfología de la concha de abanico (*Pectinidae*)

- Morfología externa: el cuerpo blando está protegido por dos valvas laterales de carbonato de calcio son casi circulares excepto por el borde dorsal que es recto y se unen por medio de la charnella. Es inequivalva (valvas diferentes); la derecha es de mayor convexidad que la izquierda o superior, ambos presentan expansiones laterales

denominadas orejas. El umbo tiene posición central y constituye la parte anterior del organismo. Desde el umbo se irradian costillas en número de 24 a 25. La valva derecha es de coloración más clara que la izquierda que es oscura (47).

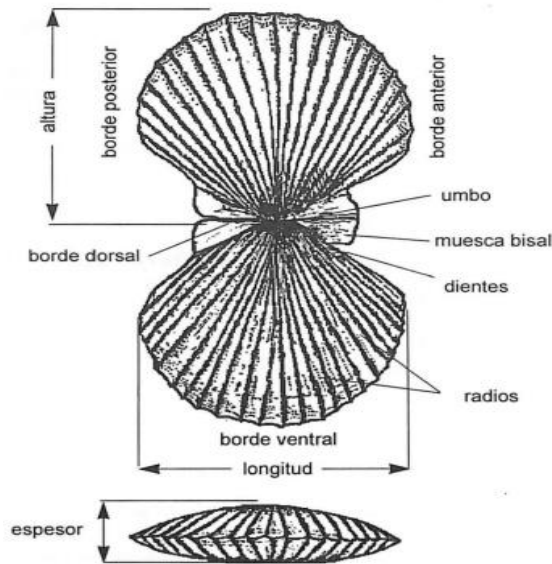


Figura 4. Morfología externa de la concha de abanico.

Fuente: Proyecto de Normativa Técnica Peruana (2019).

- Morfología interna:
 - El manto: cubre a las partes blandas, consta de dos lóbulos, atravesados por vasos sanguíneos y nervios, su función radica en la actividad respiratoria y en la segregación de la concha.
 - El pie: es pequeño y rudimentario, sirve para la fijación mediante el biso.
 - Branquias: las branquias a cada lado realizan la respiración y tienen dos láminas branquiales externa e interna cuya función es atrapar el material alimenticio.
 - Músculo aductor: posee un solo músculo aductor (carne blanca) está dividido en dos partes, una de fibras estriadas que da impulso a la actividad natatoria y la otra más pequeña de forma elíptica adosada a la primera, cuya función es cerrar las valvas.

- Gónada: se encuentra adosada al músculo aductor es sacciforme, voluminosa y turgente cuando se encuentra en la plenitud de la madurez, su consistencia, tamaño y coloración varía según la etapa en que se encuentra. La gónada masculina es de color lechoso y gónada femenina de color naranja.
- Sistema digestivo: el tubo digestivo se inicia en los palpos labiales, que presentan surcos y cilios. El alimento es conducido hacia la boca por el movimiento de los cilios, continúa hacia el esófago donde se mezcla, sigue por el intestino enrollado, por el recto y termina en el ano.



Figura 5. Morfología interna de la concha de abanico.

Fuente: Mendo et al. (2011), citado por Cueto (2016).

2.2.13. Componentes químicos de las conchas de abanico (*Pectinidae*)

El conjunto químico principal de las conchas de abanico, es el carbonato cálcico, este de nivel ternario, que significa que está compuesto por tres elementos distintos: calcio, carbono y oxígeno; representado por la fórmula química CaCO_3 . El carbonato cálcico lo encontramos de norma natural y abundante en la naturaleza ya que es un componente principal de algunas rocas y también esqueletos y valvas de algunos organismos como las conchas de abanico y caracoles, con una pureza al 99.17 %, esta composición cálcica de la conchuela es muy semejante a la de las rocas calcáreas comparándose a los yacimientos de piedra caliza con un contenido de 94 a 97 % de carbonato de calcio, tal como la cáscara de huevo en 93.5 % (48).

2.3. Definición de términos básicos

- Agua ácida: el drenaje ácido del sector minero es agua ácida cargada de hierro, sulfato y otros metales disueltos que se forma en condiciones naturales cuando los estratos que contienen pirita se exponen a la atmósfera o entornos oxidantes (49).
- Efluentes mineros: son aguas que contienen desechos líquidos, sólidos o gaseosos que son producto del uso rutinario por las actividades industriales. Los procesos mineros y metalúrgicos generan efluentes como agua de relaves, drenaje ácido de minas e infiltración, estos se caracterizan por ser un efluente de pH bajo y alta acidez que contiene metales pesados y sulfato (50).
- Granulometría: se define como el tamaño del material adecuado a emplear, que se mide a una escala granulométrica para fines de análisis, normalmente para obtener partículas con medidas más exactas se emplea los tamices (51).
- Límites Máximo Permisible (LMP): es la medida de la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracteriza a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud y al medio ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente (MINAM) y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental (52).
- Metales pesados: son elementos que tienen una densidad mayor de 5 en su forma elemental y comprenden 38 elementos. El término usualmente se refiere a 12 metales que son usados y generados por los diferentes sectores de la industria, estos son, Cd, Cr, Cu, Fe, Co, Mo, Mn, Zn, Sn, Ni, Hg y Pb (53).
- Percolación: es el proceso lento de filtración a través de un material poroso, si la cantidad de agua aplicada es mayor que la capacidad de retención, el agua infiltrara hacia zonas que no pueden acceder, siendo por lo tanto agua perdida (54).
- Potencial de hidrógeno (pH): Es un parámetro que se calcula con el número de iones de hidrógeno que permite determinar la acidez, neutralidad o basicidad de una sustancia midiendo de una escala de 0 – 14; indicando la escala 7 como básica, menor a la escala 7 como sustancia ácida y mayor a 7 como sustancia básica, el parámetro mencionado es muy importante ya que de esta depende la calidad de las aguas (55).

- Relaves mineros: los relaves consisten en rocas molidas y efluentes de proceso que se generan en una planta de procesamiento de minas constituye metales, minerales, productos químicos, orgánicos y agua de proceso irrecuperable y poco rentable, presentan forma de lodo, y se descargan en un área de almacenamiento final comúnmente conocida como Instalación de gestión de relaves (56).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Métodos de la investigación

3.1.1.1. Método general

El método de investigación es hipotético-deductivo (57), donde se dio el valor de verdad o falsedad a la hipótesis planteada sobre el efecto que tiene el tratamiento en columnas de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*) en la concentración de metales disueltos de pasivos ambientales mineros de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo 2021.

3.1.1.2. Método específico

El método específico de la investigación fue experimental (58), ya que para comprobar el efecto que tiene el tratamiento en columnas de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*) en la concentración de metales disueltos de pasivos ambientales mineros de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo 2021, fue necesario hacer la experimentación.

3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación fue aplicada (58), ya que la investigación buscó generar conocimientos con su aplicación directa a problemas ambientales, toda vez que se validaron las teorías vigentes para la explicación del efecto del tratamiento en columna de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*) en la concentración de metales disueltos de pasivos ambientales mineros de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo 2021.

3.1.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación fue correlacional (57), ya que se asociaron conceptos, y existiendo una relación entre conceptos y variables sobre la determinación del efecto que tiene el tratamiento en columnas de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*) en los metales disueltos por el pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo 2021, fue necesario hacer la experimentación.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de diseño de la investigación

El tipo de diseño de investigación fue experimental (57), porque se hicieron tratamientos en columnas de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*) a los metales disueltos por el pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris, Huancayo 2021. Para la investigación se trabajó con tres tratamientos y tres repeticiones, haciendo un total de 9 unidades experimentales.

El presente proyecto tiene como propósito determinar el efecto que tiene las columnas de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*) para tratar metales disueltos por pasivos ambientales.

Tabla 5. *Tratamiento en estudio.*

N°	TRATAMIENTOS
1	T1 = metales disueltos sin tratamiento.
2	T2 = metales disueltos con 30 minutos de tratamiento.
3	T3 = metales disueltos con 60 minutos de tratamiento.

Fuente: elaboración propia.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población estuvo compuesta por el área de drenaje ácido generado en el pasivo ambiental minero en temporada lluviosa donde funcionaba la Planta Concentradora de Yauris, identificada mediante coordenadas UTM. La información complementaria se presenta en la sección de Anexos (Anexo 1).

3.3.2. Muestra

Se preparó del drenaje ácido por percolación de agua destilada a través de una muestra de relave, colectado de 9 puntos seleccionados aleatoriamente en el pasivo ambiental minero que se encuentra en el inventario nacional de pasivos ambientales (Anexo 2). El tipo de muestra fue probabilística (57).

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

- Observación.
- Diagrama de flujo.
- Registro instrumental.
- Revisión de imágenes satelitales.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

- Libreta de apuntes.
- Probeta.
- Jarra medidora.
- Balanza.
- Cámara fotográfica.
- Experimentos de laboratorio.

3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Los datos, resultados de los análisis realizados después del experimento, fueron sistematizados según los tratamientos a través del análisis estadístico en el programa IBM SPSS Statistics, aplicando la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos, verificándose la distribución normal, procediendo a realizar el análisis de varianza (ANOVA) y la post prueba de Duncan para determinar la variación de los tratamientos.

3.6. Instalación del experimento

3.6.1. Preparación de muestras a tratar

- Primero se obtuvieron las muestras de relaves mineros de la Planta Concentradora de Yauris; se mezclaron todas las muestras y posteriormente se tamizaron con una malla promedio de 2 mm de diámetro.
- Después se armó un bidón percolador casero, para simular la percolación del suelo; para esta etapa, se adquirió un bidón de plástico de capacidad 20 l, de altura de 40 cm y se quitó la base del bidón de tal forma que quedara abierta para ingresar las muestras de suelo; posteriormente, el cuello, junto con la tapa, se relleno de algodón para simular filtración, finalmente se colocó de forma invertida en un soporte y se relleno con las muestras de suelo a una altura de 20 cm y agua

destilada sobre el nivel del suelo. Debajo del percolador, se colocó una jarra con medidor para recepcionar las muestras a tratar.

- El efluente resultante de la percolación se llevó a analizar al laboratorio, siendo aquella la muestra inicial.
- Finalmente, se hizo una dilución 8:1 entre el efluente resultante de la percolación y agua destilada, previo a ser tratado en la columna de remoción, esto con el objetivo de que la acidez no afecte bruscamente al material calcáreo.

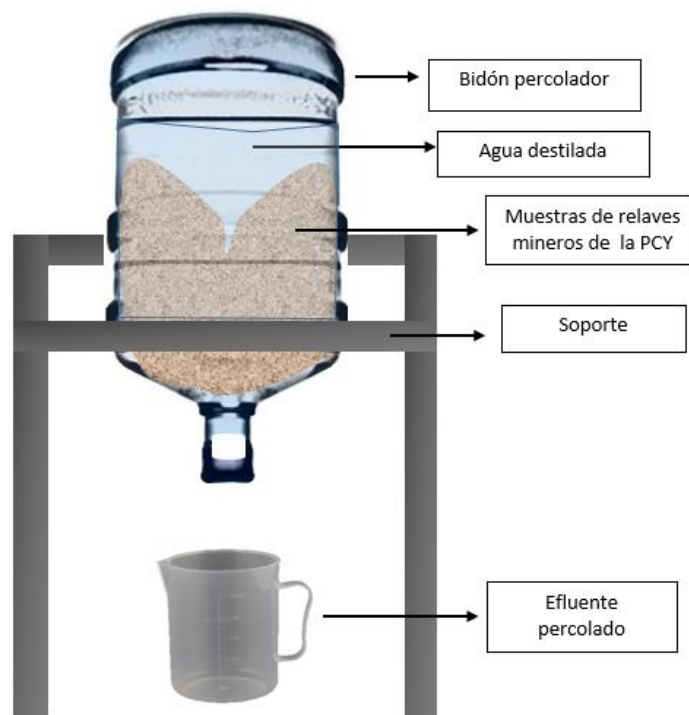


Figura 6. Prototipo de percolador casero.

Fuente: elaboración propia.

3.6.2. Material de relleno de la columna

- El material de relleno de la columna fueron las conchas de abanico (*Pectinidae*) se obtuvo de los mercados centrales de la provincia de Huancayo, Junín. Esos desechos fueron previamente lavados con agua destilada, con el fin de eliminar impurezas.
- Seguidamente fueron secadas a temperatura ambiente durante 24 h, luego se redujo el tamaño utilizando un molino manual.

- Finalmente, se tamizaron las conchas molidas en un rango de más de 1 mm y menor a 2 mm.

3.6.3. Columna de tratamiento

- Los experimentos fueron realizados en una columna acrílica transparente, cuyas dimensiones fueron de 1.8 cm de diámetro, con una altura de 95 cm. La preparación de la columna se llevó a cabo como se describe a continuación:
 - o En el interior de la columna se colocó doble malla plástica ubicada en la parte inferior y superior con diámetros de 1 mm y 2 mm respectivamente, con el objetivo de que las partículas del relleno no sean arrastradas en el proceso de tratamiento.
 - o El diseño de la columna fue de forma ascendente, el ingreso del agua contaminada es por la parte inferior y la salida por la parte superior.
 - o La alimentación de la columna se realizó con la ayuda de un recipiente de plástico, colocado a una altura aproximado de 90 cm y conectado con una manguera plástica directamente a la columna, manteniendo constante la altura de la columna del efluente para que no exista variación en el flujo a la salida.

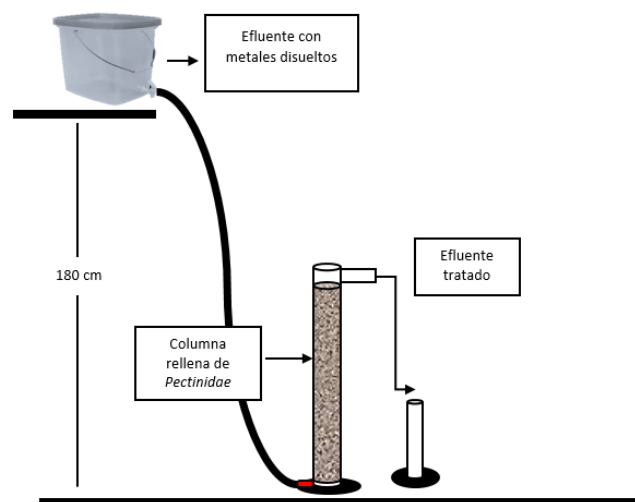


Figura 7. Diseño de la columna con *Pectinidae*.

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Resultados iniciales

Se analizó la concentración de 4 metales pesados (cobre, plomo, hierro y arsénico) y la acidez del agua resultante de la percolación, mostrados en la tabla 6.

- A. pH: la muestra inicial mostró un agua ácida con valor de 3,4 que según el D.S. N° 010-2010-MINAM sobrepasa el rango de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.
- B. Cu: la concentración de cobre fue de 161,410 mg/L, valor que según el D.S. N° 010-2010-MINAM sobrepasa el rango de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.
- C. Pb: la concentración de plomo fue de 0,734 mg/L, valor que según el D.S. N° 010-2010-MINAM sobrepasa el rango de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.
- D. Fe: la concentración de hierro fue de 6,424 mg/L, valor que según el D.S. N° 010-2010-MINAM sobrepasa el rango de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.
- E. As: la concentración de arsénico fue de 7,094 mg/L, valor que según el D.S. N° 010-2010-MINAM sobrepasa el rango de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.

Tabla 6. *Resultados iniciales.*

DESCRIPCIÓN	ELEMENTOS				
	Cu	Pb	Fe	As	pH
Muestra inicial	161,410	0,734	6,424	7,094	3,4
Elemento	Cu	Pb	Fe	As	pH
Método	AAS	AAS	AAS	AAS	Potenciometría
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	--
Límite de cuantificación	0,001	0,001	0,001	0,001	0-14

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Resultados finales y análisis

A. pH del agua:

Tabla 7. *Resultados del análisis de acidez del agua después del tratamiento.*

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	pH	Promedio
T1: (metales disueltos sin tratamiento)	Muestra 1	3,9	3,8
	Muestra 2	3,4	
	Muestra 3	4,1	
T2: (metales disueltos + 30 minutos de tratamiento)	Muestra 1	4,9	5,0
	Muestra 2	5,1	
	Muestra 3	5,0	
T3: (metales disueltos + 60 minutos de tratamiento)	Muestra 1	5,6	6,0
	Muestra 2	6,8	
	Muestra 3	5,7	

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 7, el promedio de las muestras iniciales sin tratamiento en columna de remoción muestra un pH ácido (3,8), sin embargo, esto cambia en el tratamiento 3, donde baja la acidez de la muestra a un valor de 6,0.

- Análisis de resultados:

Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk.

Se planteó la siguiente hipótesis:

H₀: La distribución de los datos es normal.

H₁: La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 8. *Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el pH.*

Tratamiento		Prueba de normalidad		
		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
pH	T1	,942	3	,537
	T2	1,000	3	1,000
	T3	,811	3	,141

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 8, se acepta la hipótesis nula porque el valor de p es mayor que el nivel de significancia (0.05), quiere decir que los datos analizados están distribuidos de manera normal.

- Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

H₀: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H₁: $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (al menos una μ es diferente a los demás).

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 9. *Análisis de varianza para los tratamientos - pH.*

ANOVA					
pH					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	7,539	2	3,770	18,886	,003
Dentro de grupos	1,198	6	,200		
Total	8,737	8			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según el análisis de varianza (ANOVA), p tiene un valor menor que 0.05, por lo tanto se acepta la H_1 , lo cual indica que los tratamientos no son iguales estadísticamente.

- Prueba de Duncan:

Tabla 10. Prueba de Duncan para el pH.

		pH		
		Duncan ^a		
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	3	3,800		
T2	3		5,000	
T3	3			6,040
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Fuente: elaboración propia.

B. Cu:

Tabla 11. Resultados de la concentración de cobre después del tratamiento.

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	Cu (mg/L)	Promedio
T1: (metales disueltos sin tratamiento)	Muestra 1	98,7	98,8
	Muestra 2	99,2	
	Muestra 3	98,5	
T2: (metales disueltos + 30 minutos de tratamiento)	Muestra 1	17,8	12,9
	Muestra 2	16,0	
	Muestra 3	5,0	
T3: (metales disueltos + 60 minutos de tratamiento)	Muestra 1	5,6	5,6
	Muestra 2	5,5	
	Muestra 3	5,7	

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 11, el promedio de las muestras iniciales sin tratamiento en columna de remoción, muestra una concentración elevada de Cu (98,8 ppm), sin embargo, esto cambia en el tratamiento 3, donde baja la concentración de la muestra a un valor de 5,6 ppm. Para conocer a mayor detalle de los cambios, se analizaron los resultados que a continuación se presenta.

- Análisis de resultados:

Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk.

Se planteó la siguiente hipótesis:

H_0 : La distribución de los datos es normal.

H_1 : La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 12. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el Cu.

Tratamiento		Prueba de normalidad		
		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Cu	T1	,942	3	,537
	T2	,849	3	,237
	T3	1,000	3	1,000

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 12, se acepta la hipótesis nula porque el valor de p es mayor que el nivel de significancia (0.05), quiere decir que los datos analizados están distribuidos de manera normal.

- Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (al menos una μ es diferente a los demás).

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 13. *Análisis de varianza para el Cu.*

ANOVA					
Cu					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16113,626	2	8056,813	503,187	,000
Dentro de grupos	96,069	6	16,012		
Total	16209,695	8			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según el análisis de varianza (ANOVA), p tiene un valor menor que 0.05, por lo tanto se acepta la H_1 , lo cual indica que los tratamientos no son iguales estadísticamente.

- Prueba de Duncan:

Tabla 14. *Prueba de Duncan para el Cu.*

Cu			
Duncan ^a			
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	3	5,6000	
T2	3	12,9300	
T1	3		98,8000
Sig.		0,066	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Fuente: elaboración propia.

C. Pb:

Tabla 15. Resultados de la concentración de Pb después del tratamiento.

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	Pb (mg/L)	Promedio
T1: (metales disueltos sin tratamiento)	Muestra 1	0,5	0,5
	Muestra 2	0,5	
	Muestra 3	0,6	
T2: (metales disueltos + 30 minutos de tratamiento)	Muestra 1	0,4	0,4
	Muestra 2	0,4	
	Muestra 3	0,4	
T3: (metales disueltos + 60 minutos de tratamiento)	Muestra 1	0,3	0,2
	Muestra 2	0,2	
	Muestra 3	0,3	

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 15, el promedio de las muestras iniciales sin tratamiento en columna de remoción, muestra una concentración elevada de Pb (0,5 ppm), sin embargo, esto cambia en el tratamiento 3, donde baja la concentración de la muestra a un valor de 0,2 ppm. Para conocer a mayores detalles de los cambios, se analizaron los resultados que a continuación se presenta.

- Análisis de resultados:

Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk.

Se planteó la siguiente hipótesis:

H₀: La distribución de los datos es normal.

H₁: La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 16. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el Pb.

Prueba de normalidad			
Tratamiento	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Cu	T1	,840	,213
	T2	,942	,537
	T3	,848	,235

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 16, se acepta la hipótesis nula porque el valor de p es mayor que el nivel de significancia (0.05), quiere decir que los datos analizados están distribuidos de manera normal.

- Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (al menos una μ es diferente a los demás).

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 17. Análisis de varianza para el Pb.

ANOVA					
Pb					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,130	2	,065	119,768	,000
Dentro de grupos	,003	6	,001		
Total	,113	8			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según el análisis de varianza (ANOVA), p tiene un valor menor que 0.05, por lo tanto se acepta la H_1 , lo cual indica que los tratamientos no son iguales estadísticamente.

- Prueba de Duncan:

Tabla 18. Prueba de Duncan para el Pb.

Pb				
Duncan ^a				
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T3	3	,2493		
T2	3		,3780	
T1	3			,5424
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Fuente: elaboración propia.

D. Fe:

Tabla 19. Resultado de la concentración de Fe después del tratamiento.

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	Fe (mg/L)	Promedio
T1: (metales disueltos sin tratamiento)	Muestra 1	5,2	5,3
	Muestra 2	5,0	
	Muestra 3	5,5	
T2: (metales disueltos + 30 minutos de tratamiento)	Muestra 1	2,8	2,5
	Muestra 2	2,4	
	Muestra 3	2,5	
T3: (metales disueltos + 60 minutos de tratamiento)	Muestra 1	< 0,001	< 0,001
	Muestra 2	< 0,001	
	Muestra 3	< 0,001	

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 19, el promedio de las muestras iniciales sin tratamiento en columna de remoción, muestra una concentración elevada de Fe (5,3 ppm), sin embargo, esto cambia en el tratamiento 3, donde baja la concentración de la muestra a un valor de < 0,001 ppm. Para conocer a mayores detalles de los cambios, se analizaron los resultados que a continuación se presenta.

- Análisis de resultados:

Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk.

Se planteó la siguiente hipótesis:

H_0 : La distribución de los datos es normal.

H_1 : La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 20. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el Fe.

Prueba de normalidad ^a				
Tratamiento		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Fe	T1	,998	3	,921
	T2	,908	3	,413

a. Fe es constante para el T3, por ello se ha omitido.

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 20, se acepta la hipótesis nula porque el valor de p es mayor que el nivel de significancia (0.05), quiere decir que los datos analizados están distribuidos de manera normal.

- Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (al menos una μ es diferente a los demás).

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 21. *Análisis de varianza para el Fe.*

ANOVA					
Fe					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	41,402	2	20,701	506,688	,000
Dentro de grupos	,245	6	,041		
Total	41,647	8			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según el análisis de varianza (ANOVA), p tiene un valor menor que 0.05, por lo tanto se acepta la H_1 , lo cual indica que los tratamientos no son iguales estadísticamente.

- Prueba de Duncan:

Tabla 22. *Prueba de Duncan para el Fe.*

Fe					
Duncan ^a					
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	
T3	3	,0010			
T2	3		2,5233		
T1	3			5,2533	
Sig.		1,000	1,000	1,000	

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Fuente: elaboración propia.

E. As:

Tabla 23. Resultados de la concentración de As después del tratamiento.

TRATAMIENTO	REPETICIÓN	As (mg/L)	Promedio
T1: (metales disueltos sin tratamiento)	Muestra 1	5,0	5,1
	Muestra 2	5,3	
	Muestra 3	5,0	
T2: (metales disueltos + 30 minutos de tratamiento)	Muestra 1	3,8	3,8
	Muestra 2	3,9	
	Muestra 3	3,6	
T3: (metales disueltos + 60 minutos de tratamiento)	Muestra 1	2,8	2,7
	Muestra 2	2,7	
	Muestra 3	2,8	

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla 23, el promedio de las muestras iniciales sin tratamiento en columna de remoción, muestra una concentración elevada de As (5,1 ppm), sin embargo, esto cambia en el tratamiento 3, donde baja la concentración de la muestra a un valor de 2,7 ppm. Para conocer a mayores detalles de los cambios, se analizaron los resultados que a continuación se presenta.

- Análisis de resultados:

Prueba de normalidad de los datos: Shapiro-Wilk.

Se planteó la siguiente hipótesis:

H₀: La distribución de los datos es normal.

H₁: La distribución de los datos no es normal.

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 24. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el As.

Prueba de normalidad				
Tratamiento	Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	
As	T1	,914	3	,431
	T2	1,000	3	,982
	T3	,873	3	,303

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según la tabla 24, se acepta la hipótesis nula porque el valor de p es mayor que el nivel de significancia (0.05), quiere decir que los datos analizados están distribuidos de manera normal.

- Análisis de varianza (ANOVA):

Prueba de hipótesis:

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$

$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ (al menos una μ es diferente a los demás).

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$

Tabla 25. Análisis de varianza para el As.

ANOVA					
As					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	8,531	2	4,265	186,703	,000
Dentro de grupos	,137	6	,023		
Total	8,668	8			

Fuente: elaboración propia.

Decisión:

Según el análisis de varianza (ANOVA), p tiene un valor menor que 0.05, por lo tanto se acepta la H_1 , lo cual indica que los tratamientos no son iguales estadísticamente.

- Prueba de Duncan:

Tabla 26. Prueba de Duncan para el As.

As				
Duncan ^a				
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T3	3	2,7367		
T2	3		3,7917	
T1	3			5,1163
Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Fuente: elaboración propia.

4.2. Discusión de resultados

a. pH:

El resultado inicial como se mostró en la tabla 6, muestra un agua de pH ácido (pH = 3,4), que según el D.S. N° 010-2010-MINAM está por encima de los Límites Máximos Permisibles. En la tabla 7, el promedio de resultado del T1 dio un pH de 3,8, también ácido, este resultado sólo con diluir de 8:1 entre el efluente resultante de la percolación y agua destilada, sin tratamiento, sin embargo ya en el T3 con 60 minutos de tratamiento en la columna de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*), el resultado alcanzó un valor de pH a 6,0, es decir, bajó la acidez del agua significativamente volviéndolo alcalino, encontrándose ahora dentro de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.

b. Cu:

El resultado inicial, como se mostró en la tabla 6, muestra una elevada concentración de cobre disuelto (161,41 mg/L). Después del experimento, como se observa en la tabla 11, el promedio de resultado del T1 fue de 98,8 mg/L de Cu, este resultado sólo con diluir de 8:1 entre el efluente resultante de la percolación y agua destilada, sin tratamiento, sin embargo ya en el T3 con

60 minutos de tratamiento en la columna de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*), la concentración del Cu bajó significativamente en un 96.5 % con respecto a la concentración inicial, alcanzando una concentración de 5,6 mg/L. Aunque el resultado no esté dentro de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos, se observa el efecto que tuvo las conchas de abanico (*Pectinidae*) como removedor de metales disueltos.

c. Pb:

El resultado inicial, como se mostró en la tabla 6, muestra una concentración de plomo disuelto (0,734 mg/L). Después del experimento, como se observa en la tabla 14, el promedio de resultado del T1 fue de 0,5 mg/L de Pb, este resultado sólo con diluir de 8:1 entre el efluente resultante de la percolación y agua destilada, sin tratamiento, sin embargo ya en el T3 con 60 minutos de tratamiento en la columna de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*), la concentración del Pb bajó significativamente en un 72.8 % con respecto a la concentración inicial, alcanzando una concentración de 0,2 mg/L encontrándose ahora dentro de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.

d. Fe:

El resultado inicial, como se mostró en la tabla 6, muestra una elevada concentración de hierro disuelto (6,424 mg/L). Después del experimento, como se observa en la tabla 19, el promedio de resultado del T1 fue de 5,3 mg/L de Cu, este resultado sólo con diluir de 8:1 entre el efluente resultante de la percolación y agua destilada, sin tratamiento, sin embargo ya en el T3 con 60 minutos de tratamiento en la columna de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*), la concentración del Fe bajó significativamente alcanzando una concentración < 0,001 mg/L, estando por debajo de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.

e. As:

El resultado inicial, como se mostró en la tabla 6, muestra un agua de concentración elevada de arsénico (7,094mg/L). En la tabla 23, el promedio de resultado del T1 muestra una concentración de 5,1 mg/L de As, este resultado sólo con diluir de 8:1 entre el efluente resultante de la percolación y agua destilada, sin tratamiento, sin embargo ya en el T3 con 60 minutos de tratamiento en la columna de remoción de conchas de abanico (*Pectinidae*) el resultado alcanzó una concentración de As de 2,7 mg/L, es decir, bajó la acidez del agua significativamente en un 61.9 % respecto al valor inicial.

CONCLUSIONES

1. Se determinó el efecto que tiene el tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) en los metales disueltos provenientes del pasivo ambiental minero de la Planta Concentradora de Yauris, siendo el efecto significativo, es decir, las concentraciones elevadas de Cu, Pb, Fe, As que se tuvieron en las muestras iniciales bajaron en un 96.5 %, 72.8 %, 100 % y 61.9 % respectivamente, mostrando que los metales Cu y Fe bajaron significativamente sus concentraciones iniciales.
2. El tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*) mostró una mayor significancia en los metales cobre y hierro, alcanzando un porcentaje mayor a 90 % a comparación de los otros metales disueltos que son plomo y arsénico.
3. El pH de la muestra tratada inicialmente mostró un valor ácido (3,4), después de 60 minutos de tratamiento con conchas de abanico (*Pectinidae*), alcanzó un valor alcalino de 6,0, mostrando así una diferencia significativa en un antes y después del tratamiento.
4. La influencia del tratamiento en las muestras de agua contaminada también se vio reflejado en la propiedad física del color, mejorando su apariencia notablemente entre la muestra inicial y la muestra después del tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CASTRO, A. Criterios para encarar, transformar y superar los conflictos entre minería y población. Lima: Consorcio de Universidades, 2016.
- (2) PINZÓN-BEDOYA, M. y CARDONA, A. Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioadsorbente. *Bistua*, 2021, 6(1). pp. 1-23.
- (3) ABDOLALI, A. y otros. Application of a breakthrough biosorbent for removing heavy metals from synthetic and real wastewaters in a lab-scale continuous fixed-bed column. *Bioresour Technol*, 2017, 229. pp. 78-87.
- (4) VERA-CABEZAS, L. y otros. Modelado en columna de lecho fijo para la bioadsorción del Cd^{2+} y Pb^{2+} con cáscara de cacao. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, 2018, 34(4). pp. 611-620.
- (5) TAMJIDI, S. y AMERI, A. A review of the application of sea material shells as low cost and effective bio-adsorbent for removal of heavy metals from wastewater. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27. pp. 31105-31119.
- (6) LIM, A. y ARIS, A. Continuous fixed-bed column study and adsorption modeling: Removal of cadmium (II) and lead (II) ions in aqueous solution by dead calcareous skeletons. *Biochemical engineering journal*, 2014, 87. pp. 50-61.
- (7) DELGADO, V. El impacto de la minería en el Perú, bajo la exégesis del análisis económico del derecho. Tesis (Título de Licenciado en Derecho). Lima: Universidad Peruana de las Américas. 2016.
- (8) DAMMERT, A. y MOLINELLI, F. *Panorama de la Minería en el Perú*. Lima: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minas, 2007.
- (9) BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. *World Mineral Production 2010-2014*. Reino Unido: British Geological Survey. 2017.
- (10) LAGOS, G. y PETERS, D. *El sector minero en Sudamérica*. 2015.
- (11) MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Balance del sector minero al primer semestre del 2021- Resultados positivos en producción, inversión y empleo. Lima: Dirección de Promoción Minera, 2021.
- (12) SACHER, W. *Cianuro, la cara tóxica de oro. Una introducción al uso del cianuro en la explotación del oro*. Quito: Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina, 2010.
- (13) TELYE, T. *La situación de los pasivos ambientales en Chile. El caso de los depósitos de relaves*. Chile: Fundación Terram, 2016.

- (14) ENRIQUEZ, J. Caracterización de pasivos ambientales mineros en la microcuenca de la quebrada Campanas de la Parroquia San Carlos de las Minas, Cantón Zamora y provincia de Zamora Chinchipe. Tesis (Título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial). Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2018.
- (15) JUÁREZ, B. Evaluación de riesgo ambiental del relave minero-metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA - Puno. Tesis (Título de Ingeniero Metalurgista). Puno: Universidad Nacional del Altiplano de Puno, 2020.
- (16) CORZO, A. Impactos de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, Tesis de maestría (Magíster en Desarrollo Ambiental). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.
- (17) GAMARRA, B. y PORTAL, G. Evaluación en la fabricación de bionanofiltros a base de concha-arcilla-almidón para la purificación de aguas superficiales del río Tablachaca. Trabajo de investigación (Título de Ingeniero de Materiales). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2018.
- (18) COTRINA, R., FARFAN, J., FLORES, J. y TESEN, A. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un sistema de biofiltro a base de conchas de abanico (*Argopecten purpuratus*) en el poblado de San Andrés de Huacar, distrito de Paccho - Huaura. Trabajo de investigación (Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2019.
- (19) LÓPEZ, A. *Biorremediación y fitorremediación en suelos contaminados*. España: Real Academia Nacional de Farmacia, 2007.
- (20) BERROSPI, L. 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. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019.
- (21) MARTÍNEZ, D. y otros. Remoción de Cr^{+6} usando partículas a base de hoja de bambú. Rev. Lat. el Ambiente y las Ciencias, 9(21), 2018. pp. 595-607.
- (22) GARCÍA, J. y otros. Efecto del tamaño de partícula en la adsorción del Pb (II) utilizando olote de maíz. AMICA, 2°, 2015.
- (23) APARICIO, A. y PRADA, J. Tratamiento integral de remediación de efluentes de aguas provenientes de la presa de Cerro Verde a través del proceso de precipitación de iones metálicos con dolomita como agente remediante. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2018.

- (24) RUIZ, J. Tratamientos de aguas ácidas con dolomita para disminuir la concentración de Cu y Zn en efluentes de la planta concentradora Victoria en la Provincia de Yauli-La Oroya. Tesis de maestría (Maestro en Ingeniería Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018.
- (25) CORZO, A. Impactos de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, Tesis de maestría (Magíster en Desarrollo Ambiental). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.
- (26) JULIÁN, C. Multifuncionalidad de un compuesto concha de abanico - arcilla y almidón en la purificación natural del agua como función de las proporciones de su conformación. Tesis doctoral. Chimbote: Universidad Nacional del Santa, 2018.
- (27) CABRERA, D. Evaluación de la capacidad de biosorción de plomo (II) empleando biomasa vegetal inerte (tallo de rosas) como adsorbente. Tesis de maestría (Maestra en Ciencias). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2018.
- (28) OBREGÓN-VALENCIA, D. y otros. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. Rev. Soc. Quím. Perú, 80(4), 2014. pp. 225-236.
- (29) ALVA, C. Estudio de la viabilidad técnico-ambiental de la aplicación de pallets basados en valvas de conchas de abanico y exoesqueletos de langostinos como adsorbentes para la remoción de metales pesados en agua. Tesis (Título Profesional de Ingeniero Industrial). Lima: Universidad de Lima, 2021.
- (30) MAZA, J. Biosorción de arsénico con biomasas derivadas de las cáscaras de coco en agua excedentes de plantas de beneficio. Experiment Findings, 2017. pp. 92-103.
- (31) BEJARANO, J. y otros. Influencia del tiempo de contacto y del tamaño de partícula de pectina de naranja (*Citrus sinensis*) en la disminución del contenido de hierro (Fe) en efluentes mineros. Agroindustrial Science, 2016, 6(2). pp. 169-173.
- (32) LICAPA, G. Influencia del tiempo de retención y composición del sustrato en la remoción de hierro y cobre del drenaje ácido de mina en humedales artificiales, Cajamarca. Tesis de maestría (Maestro en Ciencias). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, 2015.
- (33) NIETO, E. Propuesta de mejoramiento de la calidad de las aguas ácidas que drenan el pasivo ambiental de la mina Nuncia mediante el uso de bacterias sulfato reductoras, Carhuaz - Ancash. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2018.

- (34) ADUVIRE, O. *Drenaje ácido de mina, generación y tratamiento*. España: Instituto Geológico y Minero, 2006.
- (35) ROMERO, R. Adsorción de cobre y zinc utilizando el mesocarpo fibroso de la cáscara de coco verde (*Cocos nucifera*) en efluentes ácidos de mina. Tesis de maestría (Maestro en Ingeniería Ambiental). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.
- (36) CHOQUE, A. Efectos tóxicos de los metales pesados sobre la flora, fauna y la salud humana en el Perú. Trabajo de suficiencia (Título de Ingeniero de Minas). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2019.
- (37) LONDOÑO, L. y MUÑOZ, F. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Rev. Bio. Agro*, 2016, 14(2). pp. 145-153.
- (38) ASTETE, J., GASTAÑAGA, M. y PÉREZ, D. Niveles de metales pesados en el ambiente y su exposición en la población luego de cinco años de exploración minera en Las Bambas. *Rev. Per. de Medicina Experimental y Salud Pública*, 2014, 31(4). pp. 695-701.
- (39) REYES, Y. y otros. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 2016, 16(2). pp. 66-77.
- (40) DE LA CRUZ, O. y MONTALVAN, R. Los drenajes de la mina Pampamali S.A. en la contaminación del riachuelo Ccochatay en el distrito de Secclla - Huancavelica. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2014.
- (41) ADUVIRE, O. *Drenaje ácido de mina, generación y tratamiento*. España: Instituto Geológico y Minero, 2006.
- (42) GUADALUPE, E. Influencia de la densidad de corriente y pH sobre el porcentaje de eliminación de cadmio a partir de soluciones acuosas alto contenido, mediante electrodeposición. Tesis (Título de Ingeniero de Materiales). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2017.
- (43) COVARRUBIAS, S. y PEÑA, J. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Biotecnología e Ingeniería Ambientales*, 2017, 33.
- (44) PABÓN, S., BENÍTEZ, R., SARRIA, R. y GALLO, J. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 2020, 14(27). pp. 9-18.

- (45) MONTAÑO, J. Impacto de la contaminación minera y su incidencia en la oferta y demanda de los productos agrícolas, caso de la papa, cebada y quinua proveniente del Municipio El Choro. Tesis (Licenciado en Economía). Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés, 2016.
- (46) INDECOPI. *Conchas de abanico*. Lima: Comisión Nacional contra la Biopiratería, 2019.
- (47) ROJAS, D. *Un gran producto para exportar y cuidar: la concha de abanico*. Lima: Universidad de Lima - Ingeniería Industrial, 2017.
- (48) COTRINA, R., FARFAN, J., FLORES, J. y TESEN, A. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un sistema de biofiltro a base de conchas de abanico (*Argopecten purpuratus*) en el poblado de San Andrés de Huacar, distrito de Paccho - Huaura. Trabajo de investigación (Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2019.
- (49) ANDAMAYO, A. Tratamiento de aguas ácidas para la obtención de agua tipo III en la Sociedad Minera El Brocal S.A.A. - Tinyahuarco - Pasco - 2019. Tesis (Título de Ingeniero Metalurgista). Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019.
- (50) MONTESINOS, L. Caracterización de efluentes de mina para elección de la alternativa óptima de tratamiento. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2017.
- (51) BERMEJO, D. Remoción de plomo y cadmio presente en aguas residuales mineras mediante biosorción en columnas con bagazo de caña y cáscara de cacao. Trabajo de Titulación (Título de Ingeniero Ambiental). Ecuador: Universidad Cuenca, 2016.
- (52) MINISTERIO DEL AMBIENTE. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, Límites Máximos Permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. *Diario Oficial El Peruano*, Lima, Perú, 17 de marzo de 2010.
- (53) VOLKE, T., VELASCO, J. y DE LA ROSA, D. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. México: Instituto Nacional de Geología, 2005.
- (54) TEVES, I. e ILLESCA, M. Proceso de neutralización con soda caustica como un método alternativo de tratamiento de aguas ácidas para incrementar la calidad de agua en la Minera Cascaminas S.A. Tesis (Título de Ingeniero Metalurgista y de Materiales). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2009.
- (55) AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. *Diario Oficial El Peruano*, Lima, Perú, 2016.

- (56) MORA, G. Evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio MVC-2011-II, Sayán - Lima, 2017. Tesis de maestría (Maestro en Ecología y Gestión Ambiental). Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, 2019.
- (57) CEGARRA, J. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Díaz Santos, 2004. ISBN: 84-7978-624-8.
- (58) HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y otros. *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw Hill, 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.

ANEXOS

Anexo 1. Ubicación geográfica de la muestra de estudio: Planta Concentradora Yauris.

MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA CONCENTRADORA YAURIS

MAPA DE UBICACIÓN GENERAL



MAPA DE UBICACIÓN DEPARTAMENTAL



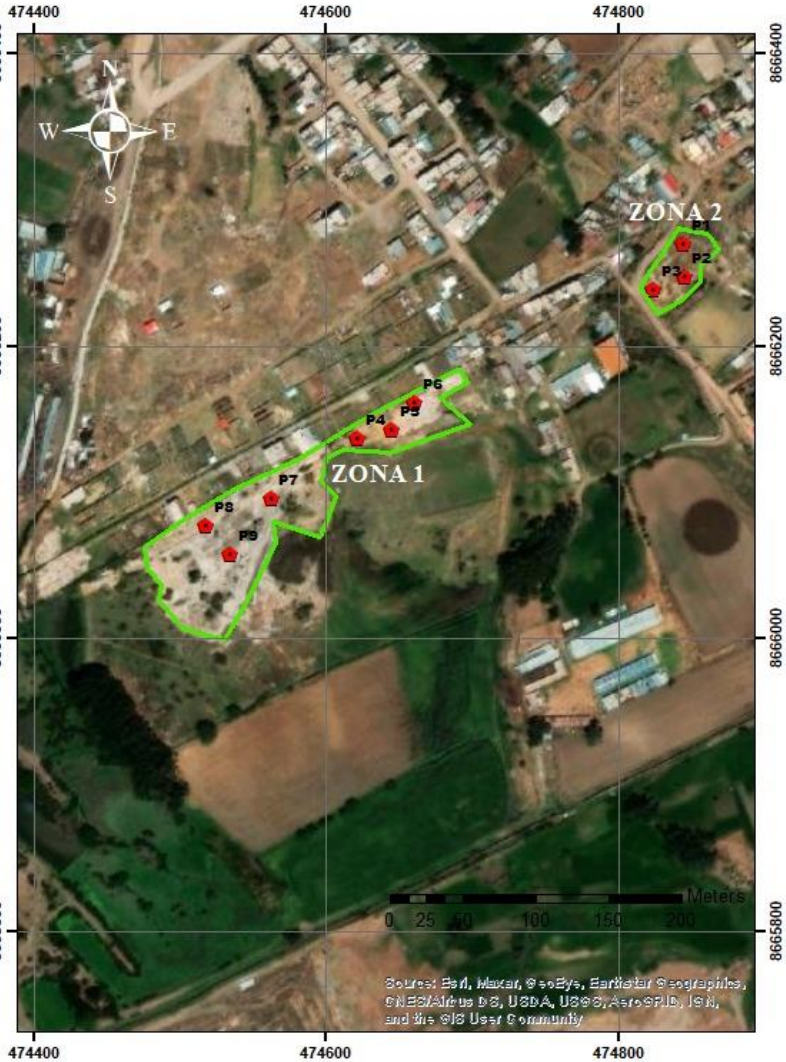
MAPA DE UBICACIÓN PROVINCIAL



MAPA DE UBICACIÓN DISTRITAL



Pío Pata



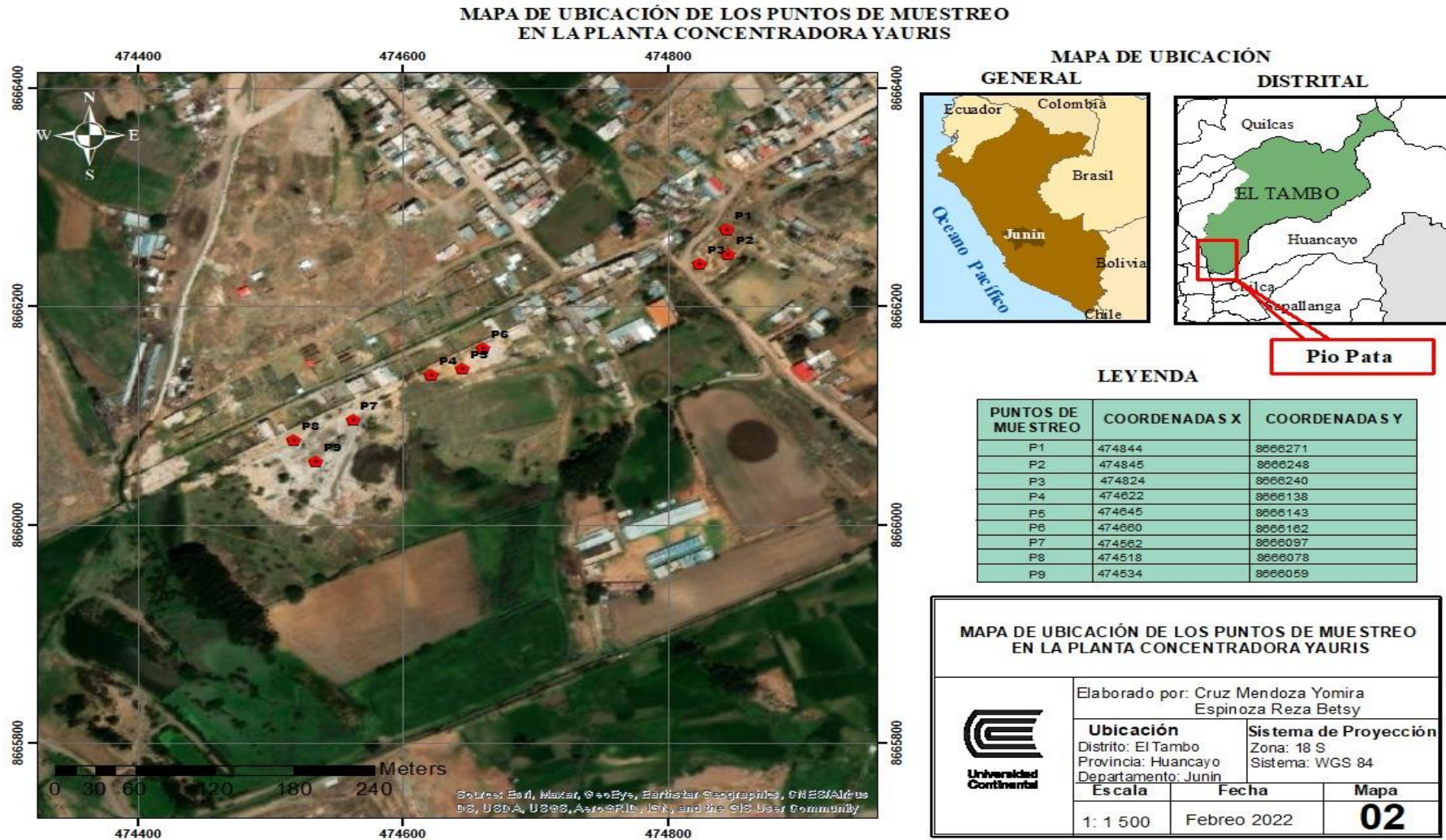
LEYENDA

ZONA 1	
Área:	1.056 ha.
Perímetro:	693.031 m
ZONA 2	
Área:	0.165 ha.
Perímetro:	168.525 m

MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA PLANTA CONCENTRADORA - YAURIS

	Elaborado por: Cruz Mendoza Yomira Espinoza Reza Betsy		
	UBICACIÓN	FECHA	MAPA
	Distrito: El Tambo Provincia: Huancayo Departamento: Junín	Febreo 2022	
	ESCALA	01	
1: 4 000			


Anexo 2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.



Anexo 3. Procedimiento del proyecto de tesis.



Anexo 4. Resultado del análisis inicial.



INFORME DE ENSAYO
RCJ-INFORME - 21-MA-0035

REV. 2.1

Página 1 de 1

A solidud de : YO MIRA MILAGROS CRUZ MENDOZA
BETSY YULIZA ESPINOZA REZA

Por cuenta de : YO MIRA MILAGROS CRUZ MENDOZA

Tipo de muestra : A gua

Tipo de Análisis

Referencia : Nota de Servicio


Cantidad de Muestras : 1
Fecha de Recepción : 28/09/2021
Fecha de Ensayo : Del 29/09/2021
Al 29/09/2021


Métodos : A bsorción Atómica (AAS)
Potenciometría

ID. Laboratorio	ID. Cliente	ELEMENTOS							
Elemento		Cu	Pb	Fe	As	pH			
Método		AAS	AAS	AAS	AAS	POTENCIOMETRIA			
Unidad		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	--			
Limite de Cuantificación		0.001	0.001	0.001	0.001	0-14			
MA-21/00107	M-1	161.410	0.734	6.424	7.094	3.4			

NOTA DE ALMACENAJE:
Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para remanentes o pulpas y 30 días para Rechazos o gruesas, se procederá a descartar. Favor no considerar esta información si se presentan instrucciones al inicio del servicio.

Huancayo, 28 de Setiembre de 2021






ING. MICHAEL E. CALERO ROMERO
CIP N° 233781
Responsable Lab. Químico

RCJ LABS UNIVERSAL · Carretera Central KM. 8.9 N° 525 San Agustín de Cajás · Teléfono: (064)589-932 · www.rcjlabuniversal.com

Anexo 5. Resultados finales después del experimento.



LABS UNIVERSAL

INFORME DE ENSAYO
RCJ-INFORME - 21-MA-0035

REV. 2.1

Página 1 de 3



A solicitud de	: YO MIRA MILAGROS CRUZ MENDOZA BETSY YULIZA ESPINOZA REZA	Cantidad de Muestras	: 9
Por cuenta de	: YO MIRA MILAGROS CRUZ MENDOZA	Fecha de Recepción	: 22/09/2021
Tipo de muestra	: Agua	Fecha de Ensayo	: Del 23/09/2021
Tipo de Análisis			Al 23/09/2021
Referencia	: Nota de Servicio		

Métodos : A bsorción Atómica (AAS)
Potenciometría

ID. Laboratorio	ID. Cliente	ELEMENTOS							
Elemento		Cu	Pb	Fe	As	pH			
Método		AAS	AAS	AAS	AAS	POTENCIOMETRIA			
Unidad		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	--			
Limite de Cuantificación		0.001	0.001	0.001	0.001	0-14			
MA-21/00108	T-Ii	98.701	0.524	5.241	5.052	3.9			
	T-Iii	99.202	0.532	4.983	5.344	3.4			
	T-Iiii	98.503	0.573	5.544	4.963	4.1			

NOTA DE ALMACENAJE:
Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para remanentes o pulpas y 30 días para Rechazos o gruesas, se procederá a descartar. Favor no considerar esta información si se presentan instrucciones al inicio del servicio.

Huancayo, 22 de Octubre de 2021

ING. MICHAEL G. CALERO ROMERO
CIP N° 233781
Responsable Lab. Químico

RCJ LABS UNIVERSAL - Carretera Central KM. 8.9 N° 575 San Agustín de Cajos - Teléfono: (04) 609-937 - www.rcjlabuniversal.com



LABS UNIVERSAL

INFORME DE ENSAYO RCJ-INFORME - 21-MA-0035

REV. 2.1

Página 2 de 3

A solicitud de	: YO MIRA MILAGROS CRUZ MENDOZA BETSY YULIZA ESPINOZA REZA	Cantidad de Muestras	: 9
Por cuenta de	: YO MIRA MILAGROS CRUZ MENDOZA	Fecha de Recepción	: 22/09/2021
Tipo de muestra	: Agua	Fecha de Ensayo	: Del 23/09/2021
Tipo de Análisis			: Al 23/09/2021
Referencia	: Nota de Servicio		
Métodos	: A bsorción Atómica (AAS) Potenciometría		

ID. Laboratorio	ID. Cliente	ELEMENTOS					
Elemento		Cu	Pb	Fe	As	pH	
Método		AAS	AAS	AAS	AAS	POTENCIOMETRIA	
Unidad		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	--	
Limite de Cuantificación		0.001	0.001	0.001	0.001	0-14	
MA-21/00108	T-2i	17.751	0.352	2.762	3.794	4.9	
	T-2ii	16.042	0.373	2.363	3.954	5.1	
	T-2iii	5.004	0.414	2.454	3.643	5.0	

NOTA DE ALMACENAJE:
Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para remanentes o púlpas y 30 días para Rechazos o gruesas, se procederá a descartar. Favor no considerar esta información si se presentan instrucciones al inicio del servicio.

Huancayo, 22 de Octubre de 2021



RCJ LABS UNIVERSAL
ING. MICHAEL G. CILLERO ROMERO
CIP N° 233781
Responsable Lab. Químico



INFORME DE ENSAYO
RCJ-INFORME - 21-MA-0035

A solicitud de	: YO MIRA MILAGROS CRUZ MENDOZA BETSY YULIZA ESPINOZA REZA	Cantidad de Muestras	: 9
Por cuenta de	: YO MIRA MILAGROS CRUZ MENDOZA	Fecha de Recepción	: 22/09/2021
Tipo de muestra	: Agua	Fecha de Ensayo	: Del 23/09/2021
Tipo de Análisis			: Al 23/09/2021
Referencia	: Nota de Servicio		

Métodos	: A bsorción Atómica (AAS) Potenciometría
----------------	--

ID. Laboratorio	ID. Cliente	ELEMENTOS					
Elemento		Cu	Pb	Fe	As	pH	
Método		AAS	AAS	AAS	AAS	POTENCIOMETRIA	
Unidad		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	--	
Limite de Cuantificación		0.001	0.001	0.001	0.001	0-14	
MA-21/00108	T-3i	5.602	0.252	<0.001	2.792	5.6	
	T-3ii	5.504	0.242	<0.001	2.651	6.8	
	T-3iii	5.704	0.261	<0.001	2.772	5.7	

NOTA DE ALMACENAJE:
Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para remanentes o púlpas y 30 días para Rechazos o gruesas, se procederá a descartar. Favor no considerar esta información si se presentan instrucciones al inicio del servicio.

Huancayo, 22 de Octubre de 2021



RCJ LABS UNIVERSAL
ING. MICHAEL G. CILLERO ROMERO
CIP N° 233781
Responsable Lab. Químico

Anexo 6. LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicos.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6-9	6-9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: D.S. N° 010-2010-MINAM.