



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

**RECUPERACIÓN DE PLOMO, CADMIO Y ZINC POR EXTRACCIÓN ACIDA EN  
LODOS PROCEDENTES DE ACTIVIDADES MINERAS**

**Línea de investigación:**

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

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autora:**

Sanchez Vallejos, Cinthya Fiorella

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Omar Ahuber

(ORCID: 0000-0002-2873-6752)

**Jurado:**

Rojas León, Gladys

García Vilca, Godilia Teresa

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

**Lima - Perú**

**2022**

**Referencia:**

Sanchez, C. (2022). *Recuperación de plomo, cadmio y zinc por extracción acida en lodos procedentes de actividades mineras*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/6176>



**Reconocimiento - No comercial - Sin obra derivada (CC BY-NC-ND)**

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede generar obras derivadas ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO  
RECUPERACIÓN DE PLOMO, CADMIO Y ZINC POR EXTRACCIÓN ACIDA  
EN LODOS PROCEDENTES DE ACTIVIDADES MINERAS

**Línea de Investigación**

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

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor(a):**

Sanchez Vallejos, Cinthya Fiorella

**Asesor:**

Vásquez Aranda, Omar Ahuber

**Jurado:**

Rojas León, Gladys

Garcia Vilca, Godilia Teresa

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

**Lima - Perú**

**2022**

### **Dedicatoria**

A Dios, porque con Él, todo es posible.

A mis padres: Pelbia y Joel, por su apoyo incondicional, su amor infinito, y por sus enseñanzas las cuales me formaron para llegar a ser la persona que soy.

A mis hermanos, quienes están siempre presentes cuando los necesito, especialmente a mi hermana Katherine, quien me apoyo en mis años de carrera universitaria.

A Kevin, por sus consejos, sus buenos deseos y por siempre creer y confiar en mí.

### **Reconocimiento:**

A mi alma mater, la Universidad Nacional Federico Villarreal, por acogerme como estudiante y formar profesionales con valores y éxito.

A mis profesores, amigos y compañeros, por tener la oportunidad de conocerlos y aprender de ellos en toda mi etapa universitaria.

A mis revisores y en especial a mi asesor, el Ing. Omar Vásquez, por su paciencia y por acompañarme en todo este proceso.

Y a todos los profesionales e Ingenieros que he llegado a conocer hasta el momento, quienes han dejado en mí, pequeñas enseñanzas de vida y de conocimiento profesional, las cuales me servirán en este camino.

## Índice

I.	INTRODUCCIÓN .....	12
1.1.	Descripción y formulación del problema.....	13
1.1.1.	Problema general .....	15
1.1.2.	Problemas específicos .....	15
1.2.	Antecedentes .....	15
1.2.1.	Nacionales.....	15
1.2.2.	Internacionales .....	16
1.3.	Objetivos .....	21
1.3.1.	Objetivo General .....	21
1.3.2.	Objetivos específicos .....	21
1.4.	Justificación .....	21
1.4.1.	Justificación Teórica .....	21
1.4.2.	Justificación Metodológica .....	22
1.4.3.	Justificación Social .....	22
1.5.	Hipótesis .....	22
1.5.1.	Hipótesis General.....	22
1.5.2.	Hipótesis específicas .....	22
II.	MARCO TEÓRICO.....	23
2.1.	Bases teóricas sobre el tema de investigación .....	23
2.1.1.	Drenaje ácido de minas (AMD).....	23
2.1.2.	Lodos de actividades mineras .....	23
2.1.3.	Contaminación por Plomo Cadmio y Zinc en actividades mineras	25

2.1.4.	Tratamiento por Extracción Ácida.....	27
2.2.	Marco conceptual.....	27
2.2.1.	Temperatura (C°).....	27
2.2.2.	Metales pesados.....	28
2.2.3.	Potencial de hidrógenos (pH).....	28
2.2.4.	Conductividad eléctrica.....	29
2.3.	Marco Legal Ambiental.....	29
III.	MÉTODO.....	32
3.1.	Tipo de investigación.....	32
3.2.	Ámbito temporal y espacial.....	32
3.3.	Variables.....	32
3.4.	Población y muestra.....	34
3.5.	Instrumentos.....	34
3.6.	Procedimientos.....	34
3.6.1.	Etapa 1 - Búsqueda, recolección y análisis del diseño metodológico	34
3.6.2.	Etapa 2 - Etapa experimental.....	35
3.7.	Análisis de datos.....	37
3.8.	Consideraciones éticas.....	37
IV.	RESULTADOS.....	38
4.1.	Caracterización físico química de lodo.....	38
4.1.1.	Caracterización del Lodo.....	38
4.2.	Resultados con diferentes dosis en los ensayos.....	39
4.2.1.	Resultados de recuperación de Plomo.....	39

4.2.2.	Resultados de recuperación de Cadmio .....	41
4.2.3.	Resultados de recuperación de Zinc .....	43
4.3.	Resultados del porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn.....	45
4.3.1.	Resultados de la recuperación de Plomo .....	45
4.3.2.	Resultados de la recuperación de Cadmio: .....	46
4.3.3.	Resultados de la recuperación de Zinc: .....	48
4.4.	Análisis Estadístico.....	49
4.5.	Contrastación de Hipótesis .....	59
V.	DISCUSION DE RESULTADOS .....	60
VI.	CONCLUSIONES .....	63
VII.	RECOMENDACIONES .....	64
VIII.	REFERENCIAS.....	65
IX.	ANEXOS .....	72
9.1.	Anexo A: Registro fotográfico.....	72
9.2.	Anexo B: Matriz de consistencia .....	75

**Índice de Tablas**

Tabla 1 .....	33
Tabla 2 .....	38
Tabla 3 .....	39
Tabla 4 .....	39
Tabla 5 .....	40
Tabla 6 .....	40
Tabla 7 .....	41
Tabla 8 .....	41
Tabla 9 .....	42
Tabla 10 .....	42
Tabla 11 .....	43
Tabla 12 .....	43
Tabla 13 .....	44
Tabla 14 .....	44
Tabla 15 .....	45
Tabla 16 .....	45
Tabla 17 .....	45
Tabla 18 .....	46
Tabla 19 .....	46
Tabla 20 .....	47
Tabla 21 .....	47
Tabla 22 .....	47
Tabla 23 .....	48
Tabla 24 .....	48

Tabla 25 .....	48
Tabla 26 .....	49
Tabla 27 .....	49
Tabla 28 .....	50
Tabla 29 .....	51
Tabla 30 .....	59

**Índice de Figuras**

Figura 1 .....	24
Figura 2 .....	26
Figura 3 .....	53
Figura 4 .....	54
Figura 5 .....	55
Figura 6 .....	56
Figura 7 .....	57
Figura 8 .....	58
Figura 9 .....	72
Figura 10 .....	72
Figura 11 .....	73
Figura 12 .....	73
Figura 13 .....	74

## Resumen

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar la eficiencia para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras, los cuales al recuperarlos se pueden utilizar en diversas aplicaciones. Se realizaron 4 ensayos de HCl a diferentes concentraciones (10, 15, 25 y 50%) por cada ion metálico analizado, en cada ensayo se hizo tratamientos a diferente tiempo (60, 120, 180 y 240 min) y con 2 repeticiones por cada tiempo, después de las dos corridas a cada tratamiento se determinó las dosis óptimas y las eficiencias alcanzadas para cada uno de los tratamientos realizados, lo cual se plasmó en tablas para su interpretación y se realizó un análisis estadístico con la metodología DCA. De los resultados obtenidos se tuvo que la dosis óptima para la recuperación de Pb, Cd y Zn es de 50% de ácido clorhídrico para el Pb, obteniendo una concentración residual de 654.52 mg/Kg en un tiempo de reacción de 240 minutos, de 25% de ácido clorhídrico para el Cd, obteniendo de 56.25 mg/Kg en un tiempo de reacción de 240 min y de igual manera, de 50% para el Zn, obteniendo una concentración de 1094.32 mg/Kg en un tiempo de reacción de 240 min. Por lo que se concluye finalmente que la eficiencia para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras, depende de la dosis de HCl que se agrega a la muestra de lodos, y del tiempo de reacción.

*Palabras clave:* extracción ácida, recuperación, eficiencia, dosis.

### **Abstract**

The objective of this thesis was to evaluate the efficiency for the recovery of Pb, Cd and Zn by acid extraction in sludges from mining activities, which when recovered can be used in various applications. Four HCl tests were carried out at different concentrations (10, 15, 25 and 50%) for each metal ion analyzed; in each test, treatments were carried out at different times (60, 120, 180 and 240 min) and with two repetitions for each time. After the two runs of each treatment, the optimum doses and the efficiencies achieved for each of the treatments were determined, which were reflected in tables for their interpretation and a statistical analysis was carried out using the DCA methodology. From the results obtained it was found that the optimum dose for the recovery of Pb, Cd and Zn is 50% hydrochloric acid for Pb, obtaining a residual concentration of 654.52 mg/Kg in a reaction time of 240 minutes, 25% hydrochloric acid for Cd, obtaining a residual concentration of 56.25 mg/Kg in a reaction time of 240 min and likewise, 50% for Zn, obtaining a concentration of 1094.32 mg/Kg in a reaction time of 240 min. Therefore, it is finally concluded that the efficiency for the recovery of Pb, Cd and Zn by acid extraction in sludge from mining activities, depends on the dose of HCl added to the sludge sample, and the reaction time.

*Keywords:* acid extraction, recovery, efficiency, dose.

## I. INTRODUCCIÓN

Esta tesis desarrolla un estudio de investigación sobre “Recuperación de plomo, cadmio y zinc por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras” ya que, las actividades mineras son la principal causa de generación de los voluminosos residuos de lodos, cargados con metales precipitados del tratamiento de drenaje ácido de mina (DAM) , lo que es considerado como el principal contaminante ambiental en diferentes países dependiendo de las industrias mineras; debido a ello se busca recuperar iones metales tóxicos como el plomo, cadmio y zinc; para lo cual se busca emplear la extracción ácida.

La preocupación que se genera por los lodos procedentes de actividades mineras se debe a que los recursos hídricos pueden verse gravemente dañados especialmente cuando no se toman medidas para evitar la contaminación. En las explotaciones la exposición de los residuos mineros al oxígeno y al agua conduce a la generación de aguas ácidas con altas concentraciones de sulfatos y metales, lo que se conoce como drenaje de minas ácidas (DAM). Ocasionalmente que estos lodos generados procedentes de actividades mineras se conviertan en una grave preocupación medioambiental.

En tal sentido, los metales pesados y los metaloides son los principales contaminantes que se acumulan en el suelo a través de las emisiones de los relaves de minas; donde, los metales pesados que se encuentran principalmente en sitios contaminados incluyen Zn, Cd, Pb, Cu, Cr, As, Ni y Hg y a diferencia de los contaminantes orgánicos, no sufren degradación por microbios y productos químicos.

La presente tesis se encuentra organizada de la siguiente manera:

- Partes iniciales: Carátula, Dedicatoria, Agradecimiento, Índice e Introducción. El contenido temático está dividido en los siguientes capítulos:
- Capítulo I: Introducción, en la cual se describe el problema, formulación del problema general y problemas específicos, la búsqueda de los antecedentes

nacionales e internacionales, presentación del objetivo general y objetivos específicos, así como la justificación e importancia del presente estudio.

- Capítulo II: Marco teórico. En la cual se detallan las bases teóricas sobre el tema de investigación.
- Capítulo III: Método. Que enfocan toda la metodología de la investigación: tipo de Investigación, ámbito temporal y espacial, variables, población y muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas.
- Capítulo IV: Resultados. Se muestran los resultados de la investigación de los tres metales de estudio.
- Capítulo V: Discusión de resultados. Se realiza una breve comparación con los antecedentes.
- Capítulo VI: Conclusiones.
- Capítulo VII: Recomendaciones. Sugerencias y recomendaciones para futuras investigaciones.
- Capítulo VIII: Referencias. Se muestran las Referencias bibliográficas utilizadas en la presente investigación.
- Capítulo IX. Anexos. Se anexa información que integra a la investigación.

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

Las contaminaciones asociadas a las actividades mineras suponen un reto medioambiental en todo el mundo, especialmente en los países del África, debido a las condiciones climáticas extremas, que influyen en la dispersión de los contaminantes metálicos en los ecosistemas (Ali et al., 2017). En las actividades mineras, la extracción de metales y metaloides genera grandes cantidades de residuos líquidos y sólidos, ya que, los residuos mineros corresponden a materiales antieconómicos que incluyen roca, ganga, material de

desecho, lodos, sedimentos, relaves, mineral tostado o productos químicos de procesamiento, etc. (Hudson-Edwards, 2016).

Es así que, en la actualidad, el volumen extraído de residuos se estima, cada año, en varios miles de millones de toneladas, pero estas cantidades están aumentando exponencialmente debido a la creciente demanda y a la explotación de yacimientos de baja ley (Hudson-Edwards et al., 2015).

En ausencia de una gestión extremadamente estricta de los yacimientos mineros, estos residuos son una fuente de importantes molestias, sobre todo por la presencia de compuestos altamente tóxicos como el plomo, cadmio, zinc o elementos radiactivos como el uranio (Kumar y Pakshirajan, 2021). En efecto, debido a la carcinogenicidad, la citotoxicidad y la mutagenicidad de muchos metales y metaloides, constituyen una grave amenaza para la salud humana y el medio ambiente (Nordberg et al., 2014).

Esta contaminación supone amenazas alarmantes en todo el mundo para los residentes locales a través de la ingestión de agua contaminada, la inhalación de polvo o el consumo de cultivos o ganado contaminados, que crecen en tierras contaminadas.

Para el medio ambiente representan una fuente importante de daños los residuos mineros sometidos al drenaje ácido de las minas o a la erosión eólica (Macías Francisco et al., 2017).

El Cd emitido por la minería a través de las aguas residuales, el drenaje minero ácido, la deposición atmosférica y la erosión de las escorias y relaves se introduce en los suelos agrícolas, que se consideran un sumidero neto de metales pesados, donde, la contaminación del suelo con Cd se ha convertido en una grave preocupación ambiental en los alrededores de las zonas de minería (Zhou et al., 2018).

Así mismo, de acuerdo a un inventario mundial de emisiones de oligoelementos realizado por NRIAGU y PACYNA, a través de las actividades de minería se liberan al medio

ambiente unos  $(357-857) \times 10^6$  kg/a de plomo y  $(462-1\ 380) \times 10^6$  kg/a de zinc (Zhang et al., 2011). Es así que, los elevados niveles de plomo, zinc y otros elementos peligrosos liberados en el en el aire, el agua, el suelo, los vegetales los suministros de alimentos y otros recursos, amenazan la salud humana (Park et al., 2019).

Pero los materiales de desecho de la minería de metales, como los relaves minerales, a menudo contienen cantidades significativas de metales potencialmente valiosos, por tal motivo, es necesario recuperar estos metales pesados para aplicaciones de reutilización industrial (Falagán et al., 2017).

### ***1.1.1. Problema general***

- ¿Cuál es la eficiencia para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras?

### ***1.1.2. Problemas específicos***

- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos de los lodos procedente de actividades mineras?
- ¿Cuál es la dosis óptima para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras?
- ¿Cuál es el porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras?

## **1.2. Antecedentes**

### ***1.2.1. Nacionales***

Barriga y Aranda (2018), en su investigación sobre “BIOACUMULACIÓN DE PLOMO, CADMIO Y MERCURIO EN ARGOPECTEN PURPURATUS (LAMARCK, 1819) Y AULACOMYA ATER (MOLINA, 1782), ESPECIES COMERCIALES DEL PERÚ, Y SU EVALUACIÓN DE RIESGO A LA SALUD”, se generó como objetivo de investigación

determinar los niveles de plomo, cadmio y mercurio en la parte comestible de la concha de abanico y el choro en periodos de 2009 a 2012, donde como metodología las muestras de concha de abanico fueron extraídas de cultivos suspendidos ubicados en Sechura, Samanco y Paracas. Las muestras de choro fueron extraídas de bancos naturales ubicados en Marcona y Atico; donde los resultados mostraron que los valores de THQ (cociente de riesgo) para Pb, Cd, Hg en concha de abanico, así como el Pb y Hg en choro fueron menores que 1 (incluso menos de 0.25), a diferencia del Cd en choro de Marcona y Atico que excedieron el nivel máximo permitido y presentaron valores de THQ mayores a 1, lo que representa un posible riesgo para la salud. Una tasa máxima de consumo semanal fue estimada para estos recursos.

Boloji et al. (2021), En el estudio de que lleva por nombre “BIOCONCENTRACIÓN Y BIOACUMULACIÓN DE METALES TÓXICOS EN SCIRPUS CALIFORNICUS DE HUMEDALES NATURALES DE LOS ANDES CENTRALES DEL PERÚ”, presenta como objetivo principal evaluar los niveles de bioconcentración y bioacumulación de plomo, zinc, hierro y arsénico en *Scirpus californicus* de las lagunas Paca y Tragadero, Jauja, Perú. Para lo cual se recogió muestras de agua, sedimentos y *Scirpus californicus* de cada laguna, que fueron transportadas al laboratorio para la determinación analítica de plomo, hierro, zinc y arsénico, que se realizó por espectrofotometría de absorción atómica en base a la metodología recomendada por la FAO. Donde demostraron que la vegetación acuática representada por *Scirpus californicus* en ambas lagunas bio acumuló principalmente Zn, sin superar las normas internacionales.

### **1.2.2. Internacionales**

Hussaini et al. (2021), en su estudio de investigación “RECUPERACIÓN DE PB-ZN DE UNA SOLUCIÓN DE LIXIVIACIÓN MÁLICA DE UN RELAVE DE FLOTACIÓN DE MINERAL DE TIPO CARBONATO MEDIANTE PRECIPITACIÓN Y EXTRACCIÓN CON SOLVENTE”, presentó como objetivo investigar la recuperación de zinc y plomo de una

solución de lixiviados mineros; en el cual la separación del plomo mediante precipitación se completó esencialmente de la solución de lixiviación de ácido málico mediante la adición de ácido sulfúrico para alcanzar un pH de 0,25 a 25 ° C., además, la solución de lixiviación después de la precipitación con plomo se sometió luego a extracción con solvente usando D2EHPA. Teniendo como resultado que el 99,3% de zinc se extrajo en la fase orgánica a un pH de 4,2 en un solo contacto junto con una cantidad sustancial de Ca (76,6%) y cantidades menores de Fe (19,2%) y Mg (18%). Se logró la eliminación completa de zinc y calcio de la solución orgánica cargada junto con 47,8% de Mg a un pH de 0,5 a temperatura ambiente. No se observó desprendimiento de hierro del orgánico cargado.

Marrugo y Urango (2016), en su trabajo de investigación, “TRATAMIENTO DE LODOS PROVENIENTES DE LA NEUTRALIZACIÓN DE CIANURO EN EL PROCESO DE BENEFICIO DE ORO EN EL SUR DEL DEPARTAMENTO DE BOLIVAR-COLOMBIA”, presenta como objetivo el tratamiento de lavado para los lodos residuales de la neutralización de cianuro generados en el proceso de beneficio de oro, presentando un sistema de lavado secuencias con HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, con base en su eficiencia en remover metales tóxicos y cianuro. Obteniendo como resultado, que el tratamiento de lavado es una alternativa práctica, que permite la movilización o arrastre de metales pesados y remoción de cianuro. Se obtuvo altas remociones de Hg, Pb, Zn y CN con valores aproximados de 65%, 97%, 94% y 98% respectivamente, con la utilización de HCl 50% como primer lavado en un tiempo de 3 horas. Sin embargo, para metales como Cd, Fe y As, se obtuvo remociones de 22.6%, 51% y 22%.

Zakusilova et al. (2022), en su estudio “EXTRACCIÓN Y SEPARACIÓN DE IRIDIO (IV) Y RODIO (III) DE MEDIOS DE ÁCIDO CLORHÍDRICO MEDIANTE UN DISOLVENTE EUTÉCTICO HIDRÓFOBO A BASE DE AMONIO CUATERNARIO”, presenta como objetivo principal estudiar estudiado por primera vez la extracción y separación de iridio (IV) y rodio (III) a partir de soluciones de ácido clorhídrico mediante un disolvente

eutético hidrófobo compuesto por cloruro de tetraheptilamonio y ácido decanoico. Para lo cual, se investigó la concentración inicial de metal en la fase acuosa sobre el comportamiento de extracción del iridio (IV) y el rodio (III). Obteniendo como resultado que la extracción eficiente de metales críticos se da mediante un disolvente eutéctico hidrofóbico y la separación eficiente se llega mediante un medio de ácido clorhídrico.

Jian et al. (2020), presentó como investigación “EXTRACCIÓN DE INDIO CON N, N-DI (1-METILHEPTIL) ACETAMIDA, DI (L-METILHEPTIL) METILFOSFATO Y TRIBUTILFOSFATO MEDIANTE EXTRACCIÓN CON DISOLVENTE EN SOLUCIÓN DE ÁCIDO CLORHÍDRICO”, teniendo como objetivo general investigar la extracción con solvente de indio a partir de una solución de ácido clorhídrico usando N, N-di (1-metil-heptil) acetamida (N503), di (1-metilheptil) metilfosfato (P350) y tributilfosfato (TBP) diluido en queroseno sulfonado. Para lo cual se realizó una metodología experimental en la cual, la extracción se estudió en función de las concentraciones de ácido clorhídrico y de iones cloruro, la composición de la fase orgánica, la concentración inicial de indio, el tiempo de contacto de la fase y la relación volumétrica acuosa / orgánica (A / O). Donde se obtuvo como resultado una extracción de indio casi cuantitativa (99%) utilizando  $0,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  N503 en tres etapas de extracción con una relación A / O de 2/1; El 100% del indio en la fase orgánica cargada se eliminó con agua en dos etapas con una relación A / O de 1/3. Por lo tanto, el indio puede extraerse del ácido clorhídrico y enriquecerse en una solución de separación de baja acidez.

Silwamba et al. (2021), desarrolló como estudio “EXTRACCIÓN Y RECUPERACIÓN SIMULTÁNEA DE PLOMO UTILIZANDO CITRATO Y HIERRO DE VALENCIA CERO A MICROESCALA PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS DEL CAMPO DE TIRO”, donde se tiene como objetivo extraer y recuperar el Pb empleando una solución acuosa de citrato y hierro de valencia cero para descontaminar el suelo. Para ello se realizó la extracción de Pb en solución de citrato y la

recuperación de Pb disuelto por precipitación reductora (cementación) se llevaron a cabo simultáneamente en un solo reactor mediante la adición de hierro de valencia cero de tamaño micro (mZVI) para descontaminar Suelo contaminado con Pb de un campo de tiro. Obteniendo que la eliminación y recuperación de Pb en mZVI de hasta el 99,0% se logró a una concentración de citrato de 0,7 M, un pH de 5 y una velocidad de agitación de 165 golpes / min. La adición de mZVI durante el lavado químico del suelo en una solución de citrato no solo extrajo y recuperó el Pb del suelo contaminado, sino que también eliminó la necesidad de lavar los residuos del suelo obtenidos después del tratamiento porque la mayor parte del Pb disuelto fue secuestrada de la solución.

Ueda et al. (2021), presentó como estudio de investigación “EXTRACCIÓN EFICAZ DE PT (IV) COMO [PTCL 6] 2- DEL ÁCIDO CLORHÍDRICO UTILIZANDO UN EXTRACTANTE DE UREA SIMPLE”, donde se presentó como metodología la convenientemente preparación N, N derivado de urea -dialkylsubstituted', 1-butyl-3- (2-etilhexil) urea (L), se preparó y se aclararán con respecto a su desempeño como agente de extracción para [PtCl 6] 2- partir de soluciones de HCl. Obteniendo como resultado L extrae eficazmente Pt (IV) y Pd (II) de soluciones de HCl de 0,01 a 10 M con una alta selectividad sobre los iones metálicos (Rh (III), Ir (III), Fe (III), Cu (II), Ni (II)), Co (II), Zn (II) y Pb (II)) en el rango de concentración de soluciones de HCl de 0,3 a 1,0 M.

Ueda et al. (2021). Desarrolló un proyecto titulado “COMPARACIÓN DE DIFERENTES AGENTES EXTRACTORES PARA LA RECUPERACIÓN DE PB Y ZN MEDIANTE LA REMEDIACIÓN ELECTROCINÉTICA DE RELAVES MINEROS”, con el objetivo de investigar la viabilidad de la Remediación Electrocinética para eliminar el plomo y el zinc de los relaves de minas reales, recolectados de la Planta de procesamiento de flotación mineralizada de plomo y zinc de Lacan (provincia de Markazi, Irán). Donde la remediación electrocinética de los relaves de la mina se llevó a cabo en 11 experimentos separados bajo un

gradiente de voltaje constante de 2 V / cm durante 9 días. Obteniendo como resultado que el acondicionamiento con catolitos, con ácido cítrico 1 M, fue la técnica de mejora más eficaz para eliminar el Zn (38,34%); Además, la mejor eficiencia de eliminación de Pb (51,31%) se logró utilizando la misma solución de electrolito en ambas cámaras de electrodos, además, el aumento de la concentración de ácido acético fue favorable para la eliminación de ambos metales pesados

Navarro et al. (2008), en su estudio, “EXTRACCIÓN DE CADMIO A PARTIR DE SOLUCIONES DE ÁCIDO CLORHÍDRICO UTILIZANDO AMBERLITE XAD-7 IMPREGNADO CON CYANEX 921 (ÓXIDO DE TRI-OCTILFOSFINA)”, presentó como objetivo utilizar la resina de extracción impregnado (EIR) para la recuperación de cadmio de soluciones concentradas de HCl. Donde, se utilizó la ecuación de Langmuir para modelar las isothermas de sorción y se encontró que la capacidad máxima de sorción era de 13 mg Cd g<sup>-1</sup>, para un EIR con 366 mg de Cyanex 921 g<sup>-1</sup> en un 3 Solución de HCl M (que contiene aproximadamente 60 mg de Cd L<sup>-1</sup>), en la que se alcanzó el equilibrio dentro de las 8 h de tiempo de contacto. Concluyendo que el cadmio se puede desorber eficazmente utilizando una amplia gama de eluyentes y se demostró la posibilidad de reutilizar la resina en cuatro ciclos.

Jimenez Rodriguez et al. (2009), en su investigación evaluó cuatro alternativas (corridas A, B, C, D) para la remoción de Zinc del agua de drenaje ácido de mina producida en las áreas mineras. En la ejecución A, el efluente anaeróbico del tratamiento del agua de drenaje de la mina ácida (suero de queso añadido como fuente de carbono) se mezcló con el AMDW crudo. El pH aumentó a 3,5 con la adición de KOH. En la ejecución B, se roció biogás con aproximadamente un 30% de sulfuro de hidrógeno obtenido en el reactor anaeróbico a la mezcla obtenida en la ejecución A, pero en este caso a un pH de 5,5. En la prueba C, el pH de la AMDW cruda se aumentó a 3,5 mediante la adición de una solución de KOH. Finalmente, en la prueba D, el pH de la AMDW sin procesar se aumentó a 5,5 mediante la adición de una

solución de KOH y se burbujeó más biogás en las mismas condiciones que en la prueba A. Se encontró que la eliminación de zinc era función del pH. A un pH de 3,5 se eliminó parcialmente el Zn. A un pH de 5,5, la eliminación de zinc aumentó considerablemente. Los mejores resultados se obtuvieron en la corrida B donde se obtuvo un 79,0 %.

### **1.3. Objetivos**

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

- Evaluar la eficiencia para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.

#### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de los lodos procedente de actividades mineras.
- Determinar la dosis óptima para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.
- Determinar el porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.

### **1.4. Justificación**

#### ***1.4.1. Justificación Teórica***

Con el presente estudio se busca recuperar Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras; así como caracterizar los parámetros fisicoquímicos de los lodos y determinar la dosis óptima para la recuperación de Pb, Cd y Zn y el porcentaje de recuperación por extracción ácida, mediante ácido clorhídrico (HCl).

### ***1.4.2. Justificación Metodológica***

Este estudio de investigación busca conseguir el rigor científico obteniendo la validez en base a las variables propuestas y los resultados generados con el procesamiento y recolección de la información.

### ***1.4.3. Justificación Social***

Este trabajo de investigación tiene como bien la necesidad de remover Pb, Cd y Zn que proceden de las actividades mineras, para que de esta manera se puede contribuir con la disminución de la carga toxica de estos contaminantes en los diversos recursos, como la redistribución de los metales pesados a través de los procesos de transporte de solutos; el cual ha sido reportada como una de las vías más peligrosas, que invoca efectos nocivos en las fuentes de agua de los ecosistemas cercanos y que amenazan la salud de los residentes cercanos.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis General***

- La recuperación de Pb, Cd y Zn presenta eficiencia por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.

### ***1.5.2. Hipótesis específicas***

- Los parámetros fisicoquímicos presentan recuperación de los niveles de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.
- La dosis óptima genera recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.
- El mayor porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn se da por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.

## II. MARCO TEÓRICO

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

#### 2.1.1. *Drenaje ácido de minas (AMD)*

El desperdicio más desafiante generado por las minas es un drenaje ácido de mina (AMD); considerado como el principal contaminante ambiental en diferentes países dependiendo de las industrias mineras (Bruneel et al., 2017).

De acuerdo con Kefeni (2017), el drenaje de la mina se produce por la oxidación ambiental y microbiana de los minerales de azufre que se originan en los desechos de la mina.

Aunque este proceso ocurre de forma natural, las operaciones mineras como la excavación y la molienda aceleran el proceso al aumentar la exposición de los minerales de sulfuro al agua, el oxígeno y los microorganismos (Simate y Ndlovu, 2014).

El DAM generalmente contiene altas concentraciones de sulfatos, hierro, metales (Pb, Cd, Zn) y metaloides como el arsénico, con pH ácido, que representan una amenaza para el medio ambiente y para la salud humana con altos costes ambientales y socioeconómicos (Akinwekomi et al., 2017).

#### 2.1.2. *Lodos de actividades mineras*

En las actividades mineras, los lodos de AMD se pueden manejar en varias opciones donde pueden recolectarse en un estanque específico o mezclarse con relaves en un estanque de relaves (Chorghe et al., 2017).

En general, la industria minera se enfrenta a muchos retos medioambientales derivados de las enormes cantidades de residuos que generan las minas, como las rocas de desecho, los residuos de las concentradoras y los lodos (Rakotonimaro et al., 2017).

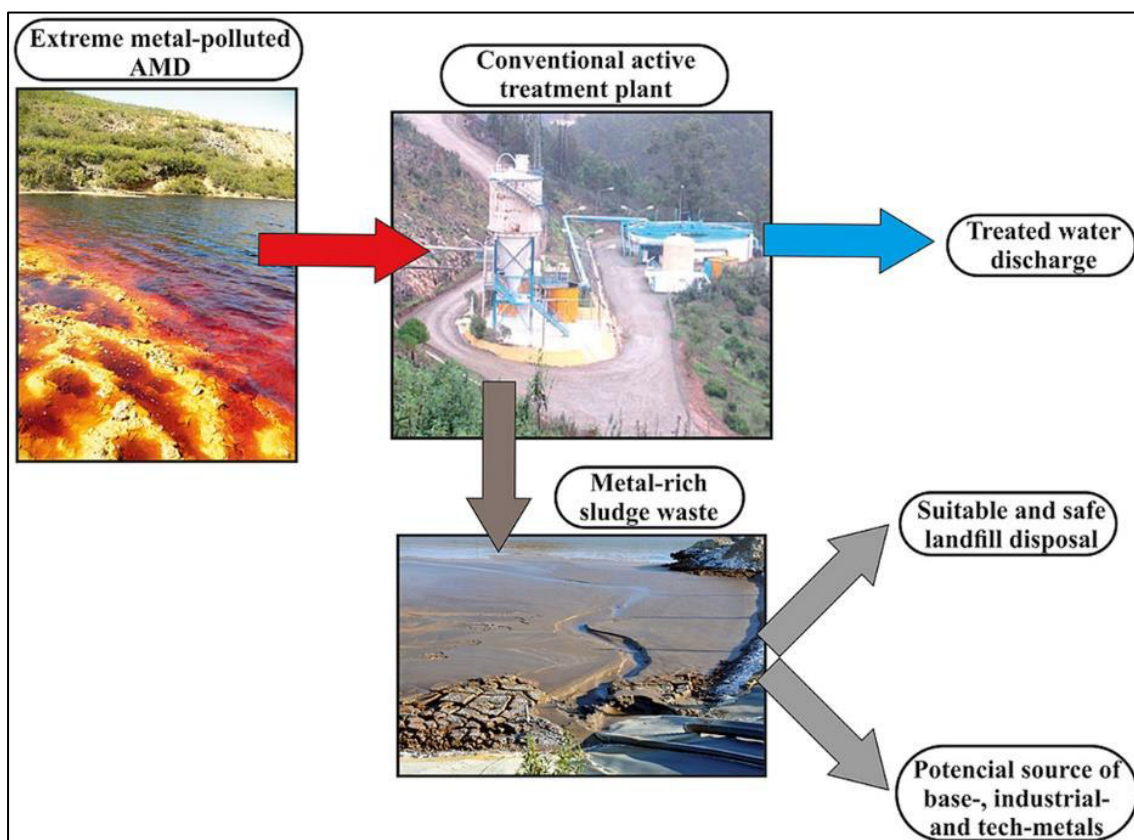
Estos residuos se depositados o apilados en el interior de la mina y constituyen una fuente potencial de contaminación debido a sus características químicas y a su granulometría (Nkosi, 2018).

Las minas producen millones de toneladas de rocas de desecho durante su explotación a cielo abierto, además, durante el beneficio del mineral, la fluorapatita se separa de los minerales de ganga asociados mediante una combinación de pasos sucesivos de procesamiento de minerales que implican trituración / cribado, lavado y flotación (Agboola, 2019). Estas operaciones generan un gran volumen de relaves (llamados lodos) que se depositan en grandes estanques superficiales y rocas de desecho apiladas dentro del sitio minero (Hakkou et al., 2016).

La fácil extracción de metales base, industriales y tecnológicos que es posible con ácidos diluidos fomenta la consideración de este tipo de lodos; como se muestra en la Figura 1.

**Figura 1**

*Lodos metálicos generados por la neutralización activa del drenaje ácido de minas (DAM)*



*Nota.* Tomado de Macías et al., (2017).

### ***2.1.3. Contaminación por Plomo Cadmio y Zinc en actividades mineras***

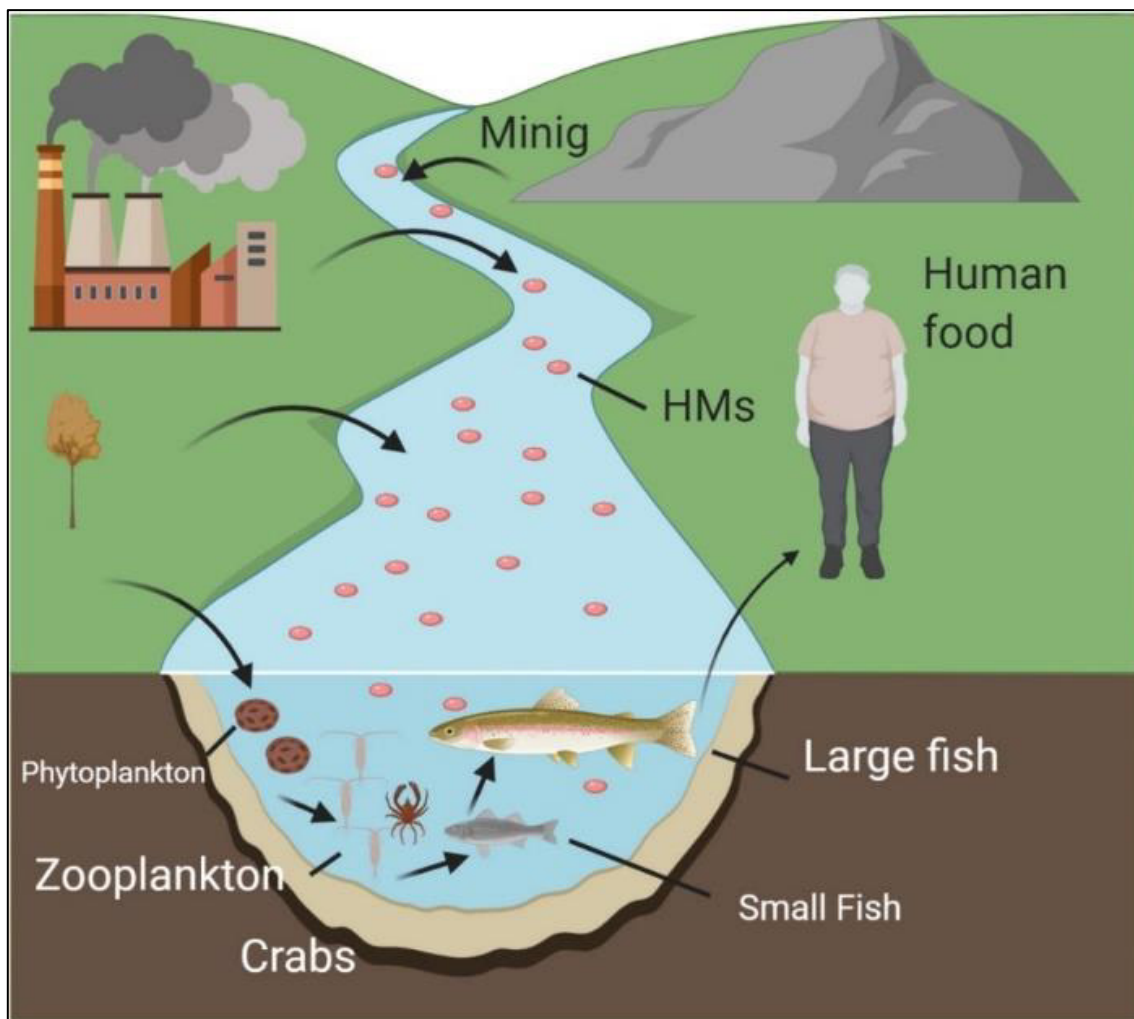
El aumento de metales pesados en el medio ambiente provocado por las actividades mineras ha contribuido al deterioro del medio ambiente en las últimas décadas y la contaminación por metales pesados debida a la minería se ha convertido en un problema nacional y en un importante tema de investigación para las ciencias ambientales y la minería (Olafisoye et al., 2020).

Los elevados niveles de plomo, zinc y otros elementos peligrosos liberados en el medio ambiente siguen impactando en el aire, el agua, el suelo los vegetales, los suministros de alimentos y otros recursos y pueden amenazar la salud humana (Lhedioha, 2017).

En el suelo estos iones metálicos tóxicos generan contaminación en los productos agrícolas, presentando un efecto adverso en la calidad de los cultivos alimentarios y convirtiéndose en un peligro para la seguridad alimentaria y la salud pública (Wu et al., 2018). Además, el Cd, Pb y Zn se caracterizan por su largo período de persistencia y tienen muchos efectos adversos para la salud, y la exposición a estos productos químicos sigue aumentando en muchas regiones del mundo (Jaishankar et al., 2014).

Además, los elementos significativos y oligoelementos se transmiten de especies abióticas a vivas en este entorno y se acumulan en la biota, contaminando la cadena alimentaria, como se muestra en la Figura 2.

Sin embargo, si el pH del agua cae, los HM pueden movilizarse y descargarse en la columna de agua, poniendo en peligro a organismos marinos como crustáceos e insectos (Squadrone et al., 2020). Como es el caso del zinc, que se acumula en las branquias de los peces interrumpiendo el suministro de oxígeno a los tejidos y provocando hipoxia, que conduce a la muerte (Bonsignore et al., 2018).

**Figura 2***Biodisponibilidad de HM en redes tróficas*

*Nota.* Tomado de Helepciuc et al., (2017)

Estos pueden causar una variedad de efectos negativos para la salud, por ejemplo: La exposición al cadmio (Cd) produce disfunción renal, desmineralización ósea, hepatotoxicidad e hipertensión (Huang et al., 2017).

La exposición al plomo (Pb) conduce a daños cerebrales y renales, efectos hematológicos negativos en los niños y efectos crónicos sobre el sistema nervioso (Briffa et al., 2020). Además, Guzzi et al., (2021), que la exposición aguda al plomo (Pb) puede provocar pérdida de apetito, dolores de cabeza, hipertensión, malestar estomacal, disfunción renal, fatiga, insomnio, artritis, alucinaciones y vértigo

Así mismo, el zinc (Zn), provocan deficiencia de Cu, alteración de los procesos bioquímicos y/o fisiológicos en el organismo (Franco et al., 2016).

#### ***2.1.4. Tratamiento por Extracción Ácida***

El tratamiento ácido utiliza ácidos diluidos o concentrados para fraccionar o hidrolizar la biomasa lignocelulósica (Rubio et al., 2015).

El pretratamiento con ácido diluido hidroliza la porción de hemicelulosa de la biomasa y provoca cambios estructurales y, por lo tanto, mejora la accesibilidad de la enzima para hidrolizar la celulosa (Loow et al., 2016). El ácido sulfúrico es el ácido más utilizado para el pretratamiento y la hidrólisis; por el contrario, otros ácidos como el ácido clorhídrico, el ácido fosfórico y el ácido nítrico se utilizan solo para el pretratamiento (Trilokesh et al., 2021).

En la mayoría de los casos, el pretratamiento con ácido por sí solo no es suficiente para aislar la celulosa, ya que los ácidos no pueden solubilizar completamente la hemicelulosa. Por lo tanto, se requiere un tratamiento alcalino junto con un tratamiento ácido para el aislamiento completo de la celulosa (Ali et al., 2018).

Las ventajas del tratamiento con ácido son el alto rendimiento de glucosa y la solubilización parcial de hemicelulosa.

## **2.2. Marco conceptual**

Para realizar el estudio de la recuperación de plomo, cadmio y zinc por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras se consideraron los parámetros de temperatura, pH y conductividad eléctrica, como se detallan a continuación:

### ***2.2.1. Temperatura (C°)***

La temperatura es una medida de la energía cinética promedio y describe el potencial de transferencia de calor de un cuerpo a alta temperatura a uno a temperatura más baja hasta que ambos cuerpos alcancen el equilibrio a la misma temperatura (Ribbens, 2017).

En diferentes condiciones de temperatura, las velocidades de eliminación de iones metálicos son diferentes, lo que da como resultado un contenido de metales diferente en el producto de reacción; donde en algunos casos la capacidad de adsorción depende de la temperatura (Yang y Sun, 2021).

### **2.2.2. Metales pesados**

Generalmente se considera que los metales pesados son aquellos cuya densidad excede los 5 g por centímetro cúbico y una gran cantidad de elementos entran en esta categoría (Naeem et al., 2019).

Los metales pesados causan efectos graves para la salud, que incluyen un crecimiento y desarrollo reducidos, cáncer, daño a los órganos, daño al sistema nervioso y, en casos extremos, la muerte. La exposición a algunos metales, como el mercurio y el plomo, también puede provocar el desarrollo de autoinmunidad, en la que el sistema inmunológico de una persona ataca a sus propias células (Haris et al., 2021).

Esto puede provocar enfermedades de las articulaciones como la artritis reumatoide y enfermedades de los riñones, el sistema circulatorio, el sistema nervioso y daño del cerebro fetal. En dosis más altas, los metales pesados pueden causar daño cerebral irreversible y en los niños pueden recibir dosis más altas de metales de los alimentos que los adultos, ya que consumen más alimentos para su peso corporal que los adultos (Zhao et al., 2016).

### **2.2.3. Potencial de hidrógenos (pH)**

El término pH, como se usa en la literatura halófila, se refiere al pH de una solución medido con electrodos estándar pero no corregido por fuerza iónica (Stefan, 2017). En soluciones de alta fuerza iónica, a menudo se usa un factor de corrección para tener en cuenta el coeficiente de actividad desconocido de los protones, las interferencias con los potenciales de difusión de los electrodos y la falta de tampones de calibración estándar para las soluciones de alta fuerza iónica (Collins y Bolton, 2016).

El factor de corrección permite que el pH se exprese como la concentración de iones de hidrógeno, en lugar de como actividad ( $pC H^+$ ); estos valores corregidos pueden ser significativamente más altos que el valor medido (Swanson y Cherkouk, 2021).

Ejemplo; el pH de una solución se define como el logaritmo del recíproco de la concentración (o actividad) de iones de hidrógeno  $[H^+]$  de la solución: (2.7.11)  $pH = -\log [H^+]$  Porque el producto iónico del agua  $K_w = [H^+][OH^-] = 1.04 \times 10^{-14}$  a  $25^\circ C$ , se deduce que una solución neutra (por ejemplo, agua pura a  $25^\circ C$ ) en la que  $[H^+] = [OH^-]$  tiene un  $pH = 7$  (General Engineering and Science, 2016).

#### **2.2.4. Conductividad eléctrica**

Conductividad eléctrica (EC) es la medida de la concentración iónica de la solución, donde un aumento de conductividad indica un aumento de iones en la solución; así mismo la conductividad eléctrica está definida por  $\sigma \equiv dx / dR$ , donde R es la resistencia eléctrica (Cox, 2018).

La conductividad eléctrica es una de las propiedades del suelo, que están asociadas con la naturaleza de la composición del suelo (es decir, distribución del tamaño de partículas, mineralogía), estructura del suelo (es decir, porosidad, distribución del tamaño de poros), contenido de humedad y temperatura (Nikolaidis y Poullikkas, 2017).

En fase líquida, la conductividad eléctrica se puede correlacionar con la concentración de soluto (Dincer y Zamfirescu, 2016).

### **2.3. Marco Legal Ambiental**

- Ley N°30588, de la Reforma Constitucional que reconoce el derecho al agua como derecho constitucional que incorpora el artículo 7°-A en la Constitución Política del Perú. Donde el estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable.

- Que, mediante la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, se creó un sistema único y coordinado de identificación, prevención, supervisión, control y corrección anticipada de los impactos ambientales negativos derivados de las acciones humanas expresadas por medio del proyecto de inversión.
- La Ley N° 29325, Ley del Sistema Nacional de Evaluación y Fiscalización Ambiental y sus normas reglamentarias; el Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, que aprobó el Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental; entre otras disposiciones que regulan las competencias y funciones de las autoridades administrativas relacionadas con la evaluación ambiental de proyectos mineros.
- Resolución Jefatural N° 0201-2009-ANA. Establecen disposiciones para la implementación de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338; que según el artículo 91° de la Ley de Recursos Hídricos, señala que la retribución económica por el uso del agua es el pago que en forma obligatoria deben abonar al estado todos los usuarios de agua como contraprestación por el uso del recurso, y es establecida por la Autoridad Nacional del Agua en función de criterios sociales, ambientales y económicos. Además, se menciona que la retribución económica que pagaran las organizaciones comunales responsables de la prestación de los servicios será de S/ 50.00 nuevos soles y para la cobranza del agua con fines mineros.
- La Ley n.º 30193 Modifica el D. L. n.º 1103, que establece medidas de control y fiscalización en la distribución, transporte y comercialización de insumos químicos que puedan ser utilizados en la minería ilegal.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias. Es el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado

de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

- Resolución Ministerial N° 093-2018-Vivienda. Aprueba el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos.

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo de investigación

Este estudio aplica la cuantificación de los conocimientos aprendidos en la ciencia básica, para poder de esta forma resolver el problema central planteada, de acuerdo a evaluar cuál es la eficiencia para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras. Es así que el estudio emplea el tipo de investigación aplicada.

Así mismo, se realizó un diseño metodológico experimental, en el cual se manipuló una variable, la variable independiente (Extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras), generando una variedad de resultados de acuerdo a la modificación de los parámetros tiempo y dosis, logrando así contrastar entre los diferentes resultados de la variable dependiente (Recuperación de plomo, cadmio y zinc).

#### 3.2. Ámbito temporal y espacial

Temporal: En el ámbito temporal el estudio se llevará a cabo en meses de octubre y diciembre del año 2021, meses en los cuales se realizó el estudio y desarrollo de investigación.

Espacial: En el ámbito espacial, la información que se procesó fue mediante la extracción de datos obtenidos de los lodos procedentes de actividades mineras.

#### 3.3. Variables

Las variables a desglosar en dimensiones e indicadores son:

VD: Recuperación de plomo, cadmio y zinc

VI: Extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras

**Tabla 1***Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Escala</b>
<b>Variable dependiente</b>	La recuperación de uno o varios iones metálicos se genera con la descomposición sobre el cátodo, ocasionando la generación una fase sólida nueva. Ello a través del fin de reducir la contaminación del suelo, agua o aire ocasionados por actividades mineras (Oteef M. et al., 2015).	Para la recuperación de plomo, cadmio y zinc se llevó a cabo, en primer lugar, caracterización fisicoquímica del lodo procedente de las actividades mineras, después de realizó diversas corridas del tratamiento de extracción ácida; para ello se usó el ácido clorhídrico (HCl).	Características fisicoquímicas	T°	°C
Recuperación de plomo, cadmio y zinc			Eficiencia	Pb, Cd y Zn	mg/kg
<b>Variable independiente</b>	El tratamiento de extracción ácido es el proceso por el cual se adiciona ácidos como ácido, sulfúrico, ácido clorhídrico, entre otros, para fraccionar a la biomasa y generar su recuperación, extrayéndolas del medio en el que se encuentren (Rubio D. et al., 2015).	Se realizará el tratamiento extracción ácida usando diferentes dosis de HCl (10, 15, 25 y 50%), realizando 4 ensayos para cada ion metálico, en el cual cada uno presenta dos corridas variando el tiempo (60, 120, 180 y 240 min.).	HCl	Dosis	%
Extracción acida en lodos procedentes de actividades mineras				Peso de lodo	gr
			Solución	Volumen	ml

*Nota:* Elaboración propia.

### **3.4. Población y muestra**

- Población: Las muestras de lodos procedentes de actividades mineras.
- Muestra: La muestra tomada de los lodos, el cual 100g del peso de lodo, para cada tratamiento.

Para tratar la muestra tomada de 100g, se realizaron 4 tratamientos, en los cuales cada uno tuvo dos corridas para cada tiempo; siendo 4 tiempos empleados en cada una; en cada tratamiento se tomó como dosis de HCl 10, 15, 25 y 50% de la dosis del ácido, y como concentración inicial del ion metálico Pb = 19 850.16 mg/Kg, Cd= 80.21 mg/Kg y Zn= 10 128.25 mg/Kg.

### **3.5. Instrumentos**

Como instrumentos se usaron fichas de datos de registros y la cadena de custodia, detallando las características físicas y químicas de los lodos tomados como muestras de las actividades mineras y los resultados presentes en cada variación de los tratamientos.

Además, la técnica que se usó consistió en el uso del análisis documental, el cual consiste en recolectar datos de fuentes secundarias; y la observación experimental, siendo aplicado y analizado a la recuperación de plomo, cadmio y zinc por extracción acida en lodos procedentes de actividades mineras, usando HCl como compuesto químico de recuperación

### **3.6. Procedimientos**

Los procedimientos que se siguieron para realizar el proceso experimental fueron dos:

#### ***3.6.1. Etapa 1 - Búsqueda, recolección y análisis del diseño metodológico***

- Búsqueda de artículos científicos, recolección de información y selección del artículo guía.
- Elaboración del diseño experimental

### **3.6.2. Etapa 2 - Etapa experimental**

#### **3.6.2.1. Toma y preparación de muestra.**

Siguiendo la metodología especificada en la RM 093-2018-VIVIENDA: Protocolo de monitoreo de biosólidos, se tiene:

- Se tomó dos muestras compuestas en dos recipientes de plástico de 20 L, resultado de la homogenización manual (con guantes adecuados) de cinco muestras puntuales para cada envase, tomadas en un periodo de 2 semanas, obtenidas con la ayuda de una pala manual cerca de la zona de buena mezcla o descarga; la cual sirve como muestras de los lodos procedentes de actividades mineras.
- Se utilizó la ficha de cadena de custodia y la ficha de registro de campo, para documentar la toma de muestras en mención hasta llegar al laboratorio de destino.

#### **3.6.2.2. Traslado de muestras**

Siguiendo la metodología especificada en la RM 093-2018-VIVIENDA: Protocolo de monitoreo de biosólidos.

- Se trasladó las muestras al Laboratorio de Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo, de la UNFV, las cuales estaban selladas y debidamente etiquetadas con su rótulo respectivo, en una caja de almacenamiento térmica con hielo en gel. Se procuró evitar la exposición al sol durante su transporte. Al llegar al laboratorio se mantuvo las muestras a 4°C para mantener su preservación hasta el análisis.

#### **3.6.2.3. Caracterización del lodo procedente de actividades mineras**

Antes de iniciar el tratamiento por extracción ácida, se realizó la caracterización de los siguientes parámetros físicos y químicos: T°, pH, CE y concentración de Pb, Cd y Zn.

- Para la toma de la temperatura se utiliza un termómetro digital.

- Para determinar el PH y CE de la muestra, nos basamos en el Método de Análisis recomendados para suelos de Chile. INIA 2006, se toma una muestra de 20 gr de lodo, se seca en la estufa a 80°C por 24 horas, se procede retirar la humedad en el desecador por 1 hora, se tritura y se lleva a grano fino con un tamiz nro. 80. Luego se pesa 1 gramo en la balanza analítica, luego se añade 25 ml de agua destilada y se lleva a agitación por 150 RPM por 30 minutos con la ayuda del floculador programable. Y finalmente se deja sedimentar en una probeta por 30 minutos, y por último se procede a medir el PH y CE con el sensor del potenciómetro en el sobrenadante, previamente se tiene que haber calibrado el equipo con un buffer de 4 a 7.
- Para determinar la concentración de metales se utilizó la tecnología normalizada internacionalmente: Método espectrometría de absorción atómica de llama (Método normalizados APHA-AWWA-WPCF.3111 A. 1989). Cuyo principio se basa en la atomización de la muestra para liberar los átomos, a los que se les aplica una energía de una longitud de onda específica que es absorbida e induce al electrón a pasar a un estado excitado. Esta energía absorbida es proporcional a la concentración del elemento en la muestra analizada.

Se detalla los pasos a continuación: lavar los recipientes de muestras con disolución de detergente, enjuagar y dejar remojando toda la noche con ácido nítrico al 10%; digerir en parrilla a 90 °C, 1g de muestra, adicionando 3 ml de HCL y 1 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado, hasta medio pastoso. Enfriar y agregar agua destilada para diluir y proceder finalmente a filtrar la muestra en una fiola de 100 ml aforando hasta la marca; encender el equipo y seleccionar la longitud de onda y el ancho de la banda espectral de acuerdo al metal a analizar; aspirar el blanco y ajustar el instrumento, aspirar la disolución estándar para elaborar la curva de calibrado de

Pb, Cd y Zn con estándares de 0.5, 1.0 y 2.0 ppm; aspirar la muestra a analizar, y obtener los valores de concentración;

#### **3.6.2.4. Paso siguiente, se realizaron 4 ensayos (HCl al 10, 15, 25 y 50%)**

Por cada ion metálico analizado, en cada ensayo se hizo tratamientos a diferente tiempo (60, 120, 180 y 240 min) y con 2 repeticiones por cada tiempo. Para lo cual se detalla: tomar una muestra de 100 g de lodo; llevar a un volumen de solución de 500 ml, con 10% de HCL, llevar a agitación en el floculador programable por 60 minutos; aplicar la metodología de espectrometría de absorción atómica para determinar la concentración del primer metal a analizar; repetir el procedimiento para el Pb, Cd y ZN, variando las concentraciones de HCL al 10, 15, 25 y 50% y variando el tiempo (60, 120, 180 y 240 min); se realizará 2 repeticiones adicional al primer análisis, por cada tratamiento y finalmente, después de las corridas (2) a cada tratamiento se determinó las dosis óptimas y las eficiencias alcanzadas para cada uno de los tratamientos realizados, lo cual se plasmó en tablas en el programa Excel para su interpretación, y se realizó un análisis estadístico con la metodología Diseño Completamente Aleatorizados (DCA), en el programa MINITAB para poder comprobar los supuestos planteados

### **3.7. Análisis de datos**

Los datos obtenidos con las concentraciones residuales para cada metal fueron comparados determinando con que tiempo se presenta el mayor porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn, así como la dosis óptima de HCl para sus respectivas recuperaciones.

### **3.8. Consideraciones éticas**

Este estudio de investigación fue realizado cumpliendo los derechos de autoría, donde cada investigación usada en el contenido de este trabajo fue debidamente citado, siguiente la normal APA Versión 7, así como la debida transparencia de los resultados proporcionados, brindando los detalles de la metodología realizada y los resultados obtenidos.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización físico química de lodo

A continuación, en la tabla N°2, se muestran los resultados de la caracterización del lodo procedente de actividades mineras antes de iniciar el tratamiento por extracción ácida, mediante ácido clorhídrico (HCl), así como los resultados de las dosis óptimas y las eficiencias alcanzadas para cada uno de los tratamientos realizados.

#### 4.1.1. Caracterización del Lodo

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos iniciales del lodo:

**Tabla 2**

*Caracterización Fisicoquímica del Lodo*

MUESTRA	T (°C)	pH	CE (uS/cm)	Pb (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
M-1	15.3	6.83	2751	19850.16	80.21	10128.25

*Nota:* Elaboración propia.

*Donde:*

- T: Temperatura
- pH: Potencial de Hidrógenos
- CE: Conductividad Eléctrica
- Pb: Concentración de Plomo
- Cd: Concentración de Cadmio
- Zn: Concentración de Zinc

## 4.2. Resultados con diferentes dosis en los ensayos

### 4.2.1. Resultados de recuperación de Plomo

- PRIMER ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 3**

*Resultados de concentración residual de Plomo (Pb), HCl (10%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
Concentración Inicial, Pb (mg/Kg)	19 850.16			
Dosis, HCl (%)	10			
Tiempo (min)	60	120	180	240
Concentración Residual, Pb (mg/Kg)	16464.52	16335.45	16254.76	16124.34
<b>REPETICIONES</b>				
1	16463.47	16336.87	16255.16	16125.32
2	16465.62	16337.21	16253.74	16126.14
<b>PROMEDIO</b>	<b>16464.54</b>	<b>16336.51</b>	<b>16254.55</b>	<b>16125.27</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- SEGUNDO ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 4**

*Resultados de concentración residual de Plomo (Pb), HCl (15%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
Concentración Inicial, Pb (mg/Kg)	19 850.16			
Dosis, HCl (%)	15			
Tiempo (min)	60	120	180	240
Concentración Residual, Pb (mg/Kg)	14024.54	13785.43	13753.61	13634.31
<b>REPETICIONES</b>				
1	14023.46	13786.22	13754.26	13633.48
2	14025.16	13787.23	13755.18	13635.35
<b>PROMEDIO</b>	<b>14024.39</b>	<b>13786.29</b>	<b>13754.35</b>	<b>13634.38</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- TERCER ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 5**

Resultados de concentración residual de Plomo (Pb), HCl (25%)

MUESTRA		TRATAMIENTO 3			
<b>Concentración Inicia, Pb (mg/Kg)</b>		<b>19 850.16</b>			
<b>Dosis, HCl (%)</b>		25			
<b>Tiempo (min)</b>	60	120	180	240	
<b>Concentración Residual, Pb (mg/Kg)</b>	7785.34	7724.35	7689.56	7654.12	
<b>REPETICIONES</b>					
<b>1</b>	7784.32	7726.14	7690.32	7653.57	
<b>2</b>	7786.85	7725.47	7688.18	7655.31	
<b>PROMEDIO</b>	<b>7785.51</b>	<b>7725.32</b>	<b>7689.35</b>	<b>7654.33</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

- CUARTO ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 6**

Resultados de concentración residual de Plomo (Pb), HCl (50%)

MUESTRA		TRATAMIENTO 4			
<b>Concentración Inicia, Pb (mg/Kg)</b>		<b>19 850.16</b>			
<b>Dosis, HCl (%)</b>		50			
<b>Tiempo (min)</b>	60	120	180	240	
<b>Concentración Residual, Pb (mg/Kg)</b>	745.17	724.32	685.34	654.56	
<b>REPETICIONES</b>					
<b>1</b>	744.65	725.37	686.37	653.48	
<b>2</b>	746.82	726.49	687.48	655.51	
<b>PROMEDIO</b>	<b>745.55</b>	<b>725.39</b>	<b>686.39</b>	<b>654.52</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

#### 4.2.2. Resultados de recuperación de Cadmio

- PRIMER ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 7**

*Resultados de concentración residual de Cadmio (Cd), HCl (10%)*

MUESTRA		TRATAMIENTO 1			
Concentración Inicial, Cd (mg/Kg)		<b>80.21</b>			
Dosis, HCl (%)		10			
Tiempo (min)	60	120	180	240	
Concentración Residual, Cd (mg/Kg)	72.42	70.82	64.79	62.65	
<b>REPETICIONES</b>					
1	71.25	71.37	66.38	60.48	
2	73.22	69.69	65.71	61.16	
<b>PROMEDIO</b>	<b>72.29</b>	<b>70.63</b>	<b>65.63</b>	<b>61.43</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

- SEGUNDO ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 8**

*Resultados de concentración residual de Cadmio (Cd), HCl (15%)*

MUESTRA		TRATAMIENTO 2			
Concentración Inicial, Cd (mg/Kg)		<b>80.21</b>			
Dosis, HCl (%)		15			
Tiempo (min)	60	120	180	240	
Concentración Residual, Cd (mg/Kg)	70.42	65.38	60.56	58.12	
<b>REPETICIONES</b>					
1	71.75	64.31	59.52	59.37	
2	72.42	63.24	61.17	57.25	
<b>PROMEDIO</b>	<b>71.42</b>	<b>64.98</b>	<b>60.42</b>	<b>58.25</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

- TERCER ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 9**

*Resultados de concentración residual de Cadmio (Cd), HCl (25%)*

MUESTRA		TRATAMIENTO 3			
<b>Concentración Inicial, Cd (mg/Kg)</b>		<b>80.21</b>			
<b>Dosis, HCl (%)</b>		25			
<b>Tiempo (min)</b>	60	120	180	240	
<b>Concentración Residual, Cd (mg/Kg)</b>	64.42	63.38	57.56	55.12	
<b>REPETICIONES</b>					
<b>1</b>	65.12	62.28	58.38	56.23	
<b>2</b>	63.48	61.45	59.19	57.39	
<b>PROMEDIO</b>	<b>64.34</b>	<b>62.37</b>	<b>58.38</b>	<b>56.25</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

- CUARTO ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 10**

*Resultados de concentración residual de Cadmio (Cd), HCl (50%)*

MUESTRA		TRATAMIENTO 4			
<b>Concentración Inicial, Cd (mg/Kg)</b>		<b>80.21</b>			
<b>Dosis, HCl (%)</b>		50			
<b>Tiempo (min)</b>	60	120	180	240	
<b>Concentración Residual, Cd (mg/Kg)</b>	61.15	60.43	59.26	58.35	
<b>REPETICIONES</b>					
<b>1</b>	60.47	61.59	58.49	57.24	
<b>2</b>	59.28	59.23	60.36	59.42	
<b>PROMEDIO</b>	<b>60.31</b>	<b>60.42</b>	<b>59.37</b>	<b>58.34</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

#### 4.2.3. Resultados de recuperación de Zinc

- PRIMER ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 11**

*Resultados de concentración residual de Zinc (Zn), HCl (10%)*

MUESTRA		TRATAMIENTO 1			
<b>Concentración Inicial, Zn (mg/Kg)</b>		<b>10 128.25</b>			
<b>Dosis, HCl (%)</b>		10			
<b>Tiempo (min)</b>	60	120	180	240	
<b>Concentración Residual, Zn (mg/Kg)</b>	3532.12	3489.56	3465.67	3354.45	
<b>REPETICIONES</b>					
<b>1</b>	3533.45	3488.34	3466.31	3353.51	
<b>2</b>	3531.57	3490.71	3467.75	3355.81	
<b>PROMEDIO</b>	<b>3532.38</b>	<b>3489.54</b>	<b>3466.58</b>	<b>3354.59</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

- SEGUNDO ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 12**

*Resultados de concentración residual de Zinc (Zn), HCl (15%)*

MUESTRA		TRATAMIENTO 2			
<b>Concentración Inicial, Zn (mg/Kg)</b>		<b>10 128.25</b>			
<b>Dosis, HCl (%)</b>		15			
<b>Tiempo (min)</b>	60	120	180	240	
<b>Concentración Residual, Zn (mg/Kg)</b>	3597.12	3725.75	3654.67	3542.43	
<b>REPETICIONES</b>					
<b>1</b>	3598.64	3726.38	3655.35	3543.17	
<b>2</b>	3596.28	3727.64	3653.91	3544.32	
<b>PROMEDIO</b>	<b>3597.35</b>	<b>3726.59</b>	<b>3654.64</b>	<b>3543.31</b>	

*Nota:* Elaboración propia.

- TERCER ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 13**

*Resultados de concentración residual de Zinc (Zn), HCl (25%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 3			
<b>Concentración Inicial, Zn (mg/Kg)</b>	<b>10 128.25</b>			
<b>Dosis, HCl (%)</b>	25			
<b>Tiempo (min)</b>	60	120	180	240
<b>Concentración Residual, Zn (mg/Kg)</b>	3785.54	3732.65	3665.55	3641.87
<b>REPETICIONES</b>				
<b>1</b>	3786.37	3731.28	3663.36	3643.27
<b>2</b>	3787.42	3733.54	3664.16	3642.48
<b>PROMEDIO</b>	<b>3786.44</b>	<b>3732.49</b>	<b>3664.36</b>	<b>3642.54</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- CUARTO ENSAYO: Peso de lodo: 100 g y volumen de solución: 500 ml

**Tabla 14**

*Resultados de concentración residual de Zinc (Zn), HCl (50%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 4			
<b>Concentración Inicial, Zn (mg/Kg)</b>	<b>10 128.25</b>			
<b>Dosis, HCl (%)</b>	50			
<b>Tiempo (min)</b>	60	120	180	240
<b>Concentración Residual, Zn (mg/Kg)</b>	1224.54	1196.23	1114.23	1095.43
<b>REPETICIONES</b>				
<b>1</b>	1225.37	1197.45	1115.84	1094.27
<b>2</b>	1226.17	1195.31	1116.31	1093.25
<b>PROMEDIO</b>	<b>1225.36</b>	<b>1196.33</b>	<b>1115.46</b>	<b>1094.32</b>

*Nota:* Elaboración propia.

### 4.3. Resultados del porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn

#### 4.3.1. Resultados de la recuperación de Plomo

- PRIMER ENSAYO

**Tabla 15**

*Resultados de recuperación de Plomo (Pb), HCl (10%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
<b>Concentración Inicial Pb (mg/Kg)</b>	<b>19 850.16</b>			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	16464.54	16336.51	16254.55	16125.27
<b>Recuperación (%)</b>	<b>17.1</b>	<b>17.7</b>	<b>18.1</b>	<b>18.8</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- SEGUNDO ENSAYO

**Tabla 16**

*Resultados de recuperación de Plomo (Pb), HCl (15%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
<b>Concentración Inicial, Pb (mg/Kg)</b>	<b>19 850.16</b>			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	14024.39	13786.29	13754.35	13634.38
<b>Recuperación (%)</b>	<b>29.3</b>	<b>30.5</b>	<b>30.7</b>	<b>31.3</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- TERCER ENSAYO

**Tabla 17**

*Resultados de recuperación de Plomo (Pb), HCl (25%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 3			
<b>Concentración Inicial, Pb (mg/Kg)</b>	<b>19 850.16</b>			

MUESTRA	TRATAMIENTO 3			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	7785.51	7725.32	7689.35	7654.33
<b>Recuperación (%)</b>	<b>60.8</b>	<b>61.1</b>	<b>61.3</b>	<b>61.4</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- CUARTO ENSAYO

**Tabla 18**

*Resultados de recuperación de Plomo (Pb), HCl (50%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 4			
<b>Concentración Inicial, Pb (mg/Kg)</b>	<b>19 850.16</b>			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	745.55	725.39	686.39	654.52
<b>Recuperación (%)</b>	<b>96.2</b>	<b>96.3</b>	<b>96.5</b>	<b>96.7</b>

*Nota:* Elaboración propia.

#### 4.3.2. *Resultados de la recuperación de Cadmio:*

- PRIMER ENSAYO

**Tabla 19**

*Resultados de recuperación de Cadmio (Cd), HCl (10%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
<b>Concentración Inicial, Cd (mg/Kg)</b>	<b>80.21</b>			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	72.29	70.63	65.63	61.43
<b>Recuperación (%)</b>	<b>9.9</b>	<b>11.9</b>	<b>18.2</b>	<b>23.4</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- SEGUNDO ENSAYO

**Tabla 20**

*Resultados de recuperación de Cadmio (Cd), HCl (15%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
<b>Concentración Inicial, Cd (mg/Kg)</b>	<b>80.21</b>			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	71.42	64.98	60.42	58.25
<b>Recuperación (%)</b>	<b>10.9</b>	<b>18.9</b>	<b>24.7</b>	<b>27.4</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- TERCER ENSAYO

**Tabla 21**

*Resultados de recuperación de Cadmio (Cd), HCl (25%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 3			
<b>Concentración Inicial, Cd (mg/Kg)</b>	<b>80.21</b>			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	64.34	62.37	58.38	56.25
<b>Recuperación (%)</b>	<b>19.8</b>	<b>22.2</b>	<b>27.2</b>	<b>29.9</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- CUARTO ENSAYO

**Tabla 22**

*Resultados de recuperación de Cadmio (Cd), HCl (50%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 4			
<b>Concentración Inicial, Cd (mg/Kg)</b>	<b>80.21</b>			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	<b>60.31</b>	<b>60.42</b>	<b>59.37</b>	<b>58.34</b>
<b>Recuperación (%)</b>	<b>24.8</b>	<b>24.6</b>	<b>25.9</b>	<b>27.3</b>

*Nota:* Elaboración propia.

### 4.3.3. Resultados de la recuperación de Zinc:

- PRIMER ENSAYO

**Tabla 23**

*Resultados de recuperación de Zinc (Zn), HCl (10%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
Concentración Inicial, Zn (mg/Kg)	10 128.25			
Concentración Residual Promedio (mg/Kg)	3532.38	3489.54	3466.58	3354.59
Recuperación (%)	<b>65.1</b>	<b>65.5</b>	<b>65.7</b>	<b>66.9</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- SEGUNDO ENSAYO

**Tabla 24**

*Resultados de recuperación de Zinc (Zn), HCl (15%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
Concentración Inicial, Zn (mg/Kg)	10 128.25			
Concentración Residual Promedio (mg/Kg)	3597.35	3726.59	3654.64	3543.31
Recuperación (%)	<b>64.5</b>	<b>63.2</b>	<b>63.9</b>	<b>65.1</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- TERCER ENSAYO

**Tabla 25**

*Resultados de recuperación de Zinc (Zn), HCl (25%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 3			
Concentración Inicial, Zn (mg/Kg)	10 128.25			

MUESTRA	TRATAMIENTO 3			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	3786.44	3732.49	3664.36	3642.54
<b>Recuperación (%)</b>	<b>62.6</b>	<b>63.1</b>	<b>63.8</b>	<b>64.1</b>

*Nota:* Elaboración propia.

- CUARTO ENSAYO

**Tabla 26**

*Resultados de recuperación de Zinc (Zn), HCl (50%)*

MUESTRA	TRATAMIENTO 4			
<b>Concentración Inicial, Zn (mg/Kg)</b>	<b>10 128.25</b>			
<b>Concentración Residual Promedio (mg/Kg)</b>	1225.36	1196.33	1115.46	1094.32
<b>Recuperación (%)</b>	<b>87.9</b>	<b>88.2</b>	<b>88.9</b>	<b>89.2</b>

*Nota:* Elaboración propia.

#### 4.4. Análisis Estadístico

Para el siguiente análisis se agrupan los tratamientos según el caso por tratamientos, dosis y repeticiones obteniendo las siguientes tablas:

**Tabla 27**

*Agrupación de Datos para el análisis estadístico inferencial de la Recuperación de Pb en medio ácido.*

TRATAMIENTO	DOSIS	REPETICION	RESULTADOS
<b>T1</b>	D1	R1	16463.47
<b>T1</b>	D1	R2	16465.62
<b>T1</b>	D2	R1	16336.87
<b>T1</b>	D2	R2	16337.21
<b>T1</b>	D3	R1	16255.16
<b>T1</b>	D3	R2	16253.74
<b>T1</b>	D4	R1	16125.32

TRATAMIENTO	DOSIS	REPETICION	RESULTADOS
T1	D4	R2	16126.14
T2	D1	R1	14023.46
T2	D1	R2	14025.16
T2	D2	R1	13786.22
T2	D2	R2	13787.23
T2	D3	R1	13754.26
T2	D3	R2	13755.18
T2	D4	R1	13633.48
T2	D4	R2	13635.35
T3	D1	R1	7784.32
T3	D1	R2	7786.85
T3	D2	R1	7726.14
T3	D2	R2	7725.47
T3	D3	R1	7690.32
T3	D3	R2	7688.18
T3	D4	R1	7653.57
T3	D4	R2	7655.31
T4	D1	R1	744.65
T4	D1	R2	746.82
T4	D2	R1	725.37
T4	D2	R2	726.49
T4	D3	R1	686.37
T4	D3	R2	687.48
T4	D4	R1	653.48
T4	D4	R2	655.51

*Nota:* Elaboración propia.

**Tabla 28**

*Agrupación de Datos para el análisis estadístico inferencial de la Recuperación de Cd en medio ácido*

TRATAMIENTO	DOSIS	REPETICION	RESULTADOS
T1	D1	R1	71.25
T1	D1	R2	73.22
T1	D2	R1	71.37
T1	D2	R2	69.69
T1	D3	R1	66.38

TRATAMIENTO	DOSIS	REPETICION	RESULTADOS
T1	D3	R2	65.71
T1	D4	R1	60.48
T1	D4	R2	61.16
T2	D1	R1	71.75
T2	D1	R2	72.42
T2	D2	R1	64.31
T2	D2	R2	63.24
T2	D3	R1	59.52
T2	D3	R2	61.17
T2	D4	R1	59.37
T2	D4	R2	57.25
T3	D1	R1	65.12
T3	D1	R2	63.48
T3	D2	R1	62.28
T3	D2	R2	61.45
T3	D3	R1	58.38
T3	D3	R2	59.19
T3	D4	R1	56.23
T3	D4	R2	57.39
T4	D1	R1	60.47
T4	D1	R2	59.28
T4	D2	R1	61.59
T4	D2	R2	59.23
T4	D3	R1	58.49
T4	D3	R2	60.36
T4	D4	R1	57.24
T4	D4	R2	59.42

*Nota:* Elaboración propia.

**Tabla 29**

*Agrupación de Datos para el análisis estadístico inferencial de la Recuperación de Zn en medio ácido.*

TRATAMIENTO	DOSIS	REPETICION	RESULTADOS
T1	D1	R1	3533.45
T1	D1	R2	3531.57
T1	D2	R1	3488.34

<b>T1</b>	D2	R2	3490.71
<b>T1</b>	D3	R1	3466.31
<b>T1</b>	D3	R2	3467.75
<b>T1</b>	D4	R1	3353.51
<b>T1</b>	D4	R2	3355.81
<b>T2</b>	D1	R1	3598.64
<b>T2</b>	D1	R2	3596.28
<b>T2</b>	D2	R1	3726.38
<b>T2</b>	D2	R2	3727.64
<b>T2</b>	D3	R1	3655.35
<b>T2</b>	D3	R2	3653.91
<b>T2</b>	D4	R1	3543.17
<b>T2</b>	D4	R2	3544.32
<b>T3</b>	D1	R1	3786.37
<b>T3</b>	D1	R2	3787.42
<b>T3</b>	D2	R1	3731.28
<b>T3</b>	D2	R2	3733.54
<b>T3</b>	D3	R1	3663.36
<b>T3</b>	D3	R2	3664.16
<b>T3</b>	D4	R1	3643.27
<b>T3</b>	D4	R2	3642.48
<b>T4</b>	D1	R1	1225.37
<b>T4</b>	D1	R2	1226.17
<b>T4</b>	D2	R1	1197.45
<b>T4</b>	D2	R2	1195.31
<b>T4</b>	D3	R1	1115.84
<b>T4</b>	D3	R2	1116.31
<b>T4</b>	D4	R1	1094.27
<b>T4</b>	D4	R2	1093.25

*Nota:* Elaboración propia.

Según las siguientes tablas se puede hacer el Diseño Completamente Aleatorizados (DCA) para poder comprobar los supuestos planteados en la presente investigación se tiene:

- Para la Recuperación de Pb en medio ácido

Para determinar el DCA en la tabla 27 que corresponde a la aplicación de los tratamientos de HCl al 50% para remover Pb de una muestra de lodo se aplica:

✓ Prueba de Normalidad para los errores (AD)

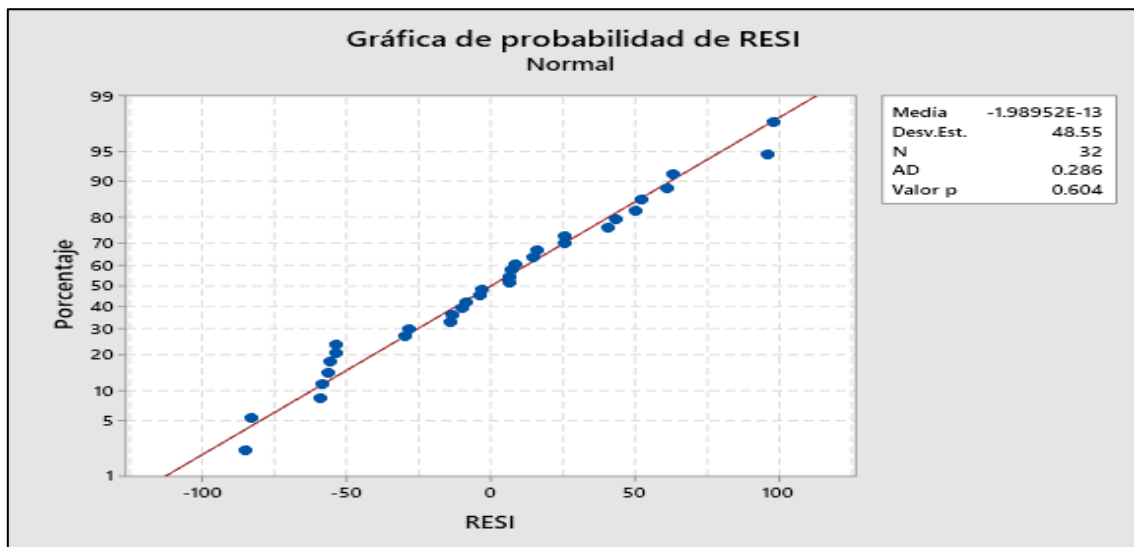
Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

### Figura 3

*Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la Recuperación de Plomo*



*Nota:* Elaborado en MINITAB versión 2019.

De lo calculado que valor  $p > 0.05$  ( $p = 0.604$ ) como también el indicador  $AD > 0.05$  ( $AD = 0.286$ ) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H0: Las varianzas son iguales

Ha: Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Barlett = 1.85 y  $p$  valor =  $0.604 > 0.05$  se acepta la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

- ✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir Pb con HCl al 50% en lodos extraídos de actividad minera

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente  $F = 6266.82$  y un  $p\text{-valor} = 0.000$  y sabiendo que  $p\text{-valor} < 0.05$  se decide rechazar la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

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

Prueba Tukey:

H0:  $\mu_i = \mu_j$

Ha:  $\mu_i \neq \mu_j$ , por lo que se tiene:

#### Figura 4

*Aplicación de la Prueba de comparación estadística Tukey para la Recuperación de Plomo por medio ácido.*

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T1	8	16295.4	A
T2	8	13800.0	B
T3	8	7713.8	C
T4	8	703.3	D

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

*Nota:* Elaborado en MINITAB versión 2019.

De lo que se desprende que el tratamiento 4 al poseer una media menor que los demás, quiere decir que en el proceso de recuperación de Pb en medio ácido (HCl al 50%) disminuye más la concentración del mismo que a otras concentraciones de HCl, por lo que se comprueba el supuesto que a mayor concentración del HCl más efectiva es la recuperación de Pb en los lixiviados de minería.

- Para la recuperación del Cd en medio ácido

Para determinar el DCA en la tabla 28 que corresponde a la aplicación de los tratamientos en medio ácido para remover Cd de una muestra de lodo se aplica:

- ✓ Prueba de Normalidad para los errores (AD)

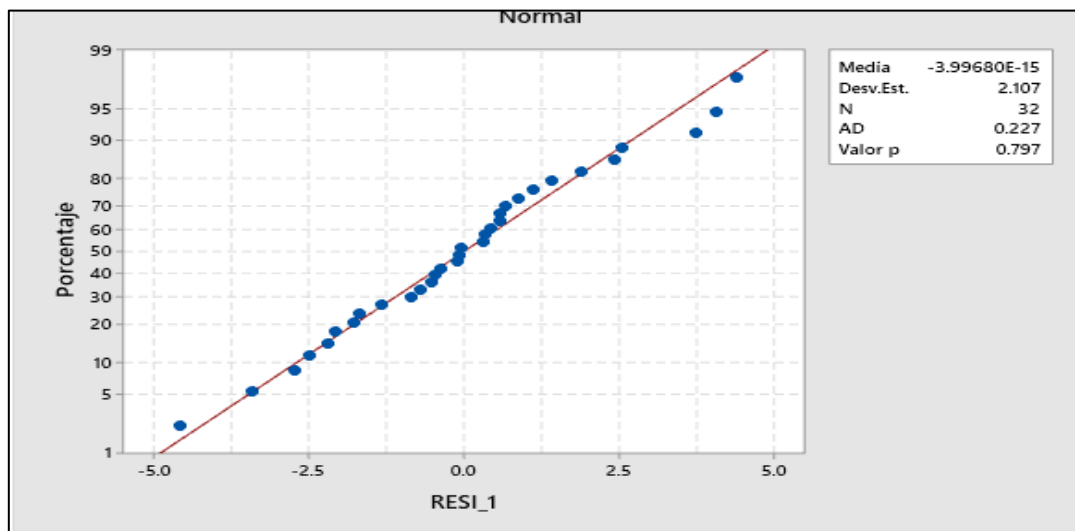
Se aplican los siguientes argumentos:

H<sub>0</sub>: Los residuos se distribuyen normalmente

H<sub>a</sub>: Los residuos no se distribuyen normalmente

### Figura 5

*Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la Recuperación de Cadmio*



*Nota:* Elaborado en MINITAB versión 2019.

De lo calculado que valor  $p > 0.05$  ( $p = 0.797$ ) como también el indicador  $AD > 0.05$  ( $AD = 2.107$ ) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

- ✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H<sub>0</sub>: Las varianzas son iguales

H<sub>a</sub>: Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Barlett = 11.17 y p valor = 0.011 < 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna por consiguiente existe al menos una varianza que es diferente.

- ✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir Cd en medio ácido en lodos extraídos de actividad minera

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente F= 11.44 y un p-valor = 0.000 y sabiendo que p-valor < 0.05 se decide rechazar la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna es decir los tratamientos presentan diferencias entre sí.

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

Prueba Tukey:

H0:  $\mu_i = \mu_j$

Ha:  $\mu_i \neq \mu_j$ , Por lo que se tiene:

### Figura 6

*Aplicación de la Prueba de comparación estadística Tukey para la Recuperación de Cadmio por medio ácido*

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T1	8	67.4075	A
T2	8	63.6288	B
T3	8	60.4400	B C
T4	8	59.5100	C

Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.

De lo que se desprende que las diferencias estadísticas no son muy grandes por lo cual los tratamientos no presentan una efectividad considerable al momento de remover Cd de la muestra.

- Para la recuperación del Zn en medio ácido

Para determinar el DCA en la tabla 29 que corresponde a la aplicación de los tratamientos en medio ácido para remover Zn de una muestra de lodo se aplica:

- ✓ Prueba de Normalidad para los errores (AD)

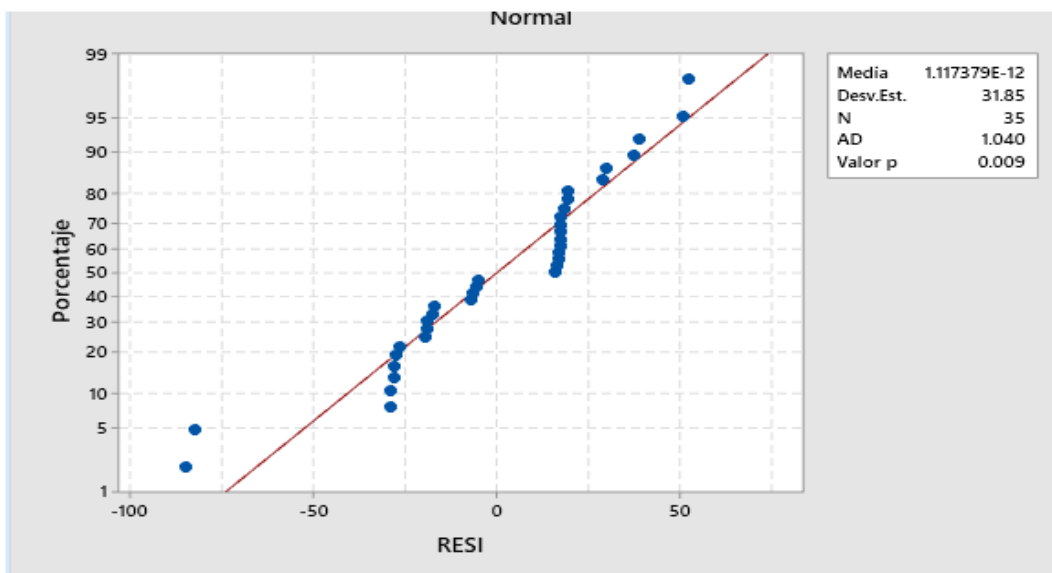
Se aplican los siguientes argumentos:

H<sub>0</sub>: Los residuos se distribuyen normalmente

H<sub>a</sub>: Los residuos no se distribuyen normalmente.

### Figura 7

*Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la Recuperación de Zinc*



*Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.*

De lo calculado que valor  $p < 0.05$  ( $p = 0.009$ ) y el indicador  $AD = 1.040$  por consiguiente se rechaza la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores no presentan una distribución Normal.

- ✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H<sub>0</sub> : Las varianzas son iguales

Ha: Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Barlett = 3.26 y p valor = 0.213 >0.05, se acepta la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir Zn en medio ácido en lodos extraídos de actividad minera

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente F= 3134.61 y un p-valor = 0.000 y sabiendo que p-valor < 0.05 se decide rechazar la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

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

Prueba Tukey:

H0:  $\mu_i = \mu_j$

Ha:  $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

## Figura 8

*Aplicación de la Prueba de comparación estadística Tukey para la Recuperación de Zinc por medio ácido.*

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T3	8	3706.48	A
T2	8	3630.71	B
T1	11	3463.19	C
T4	8	1158.00	D

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

Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019.

De lo que se desprende que el tratamiento 4 al poseer una media menor, quiere decir que en proceso de recuperación de Zn en medio ácido (HCl al 50%) disminuye más la concentración del mismo, por consiguiente, las medias son significativamente diferentes por lo tanto hay efectividad en el tratamiento.

#### 4.5. Contrastación de Hipótesis

Para ello se tiene la siguiente tabla:

**Tabla 30**

*Contrastación de hipótesis*

<b>HIPOTESIS GENERAL</b>	<b>ARGUMENTACION</b>	<b>CONTRASTACION</b>
La recuperación de Pb, Cd y Zn presenta eficiencia por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.	Se comprueba que en la recuperación de Pb y Zn presenta eficiencias mayores a 80%, pero en Cd son menores al 30% esto se debería la movilidad del mismo y a su menor peso molecular que impide ser removido ya que por su movilidad tiende a formar complejos más estables que no permitirían su extracción	Verdadera
<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>ARGUMENTACION</b>	<b>CONTRASTACION</b>
Los parámetros fisicoquímicos presentan recuperación de los niveles de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.	Se comprueba que respecto a los parámetros fisicoquímicos en todos los tratamientos hay evidencia de recuperación de Pb,Cd y Zn.	Verdadera
La dosis óptima genera recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.	La dosis óptima que genera mayor recuperación de Pb, Cd y Zn con $F=6266.82$ y $p\text{-valor}=0.00$ ; $F=11.44$ y $p\text{-valor}=0.00$ ; $F=3134.61$ y $p\text{-valor}=0.00$ respectivamente comprobando su significancia estadística y estableciendo para el Pb y Zn dosis óptima es HCl al 50% en 4 tiempos determinados	Verdadera
El mayor porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn se da por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.	Los mayores porcentajes de Pb mayores al 90% de recuperación y Zn con porcentajes mayores a 80%, el caso del Cd que presenta porcentajes menores a 30% expresan que existe recuperación, pero no es tan eficiente como los primeros lo cual puede deberse a la naturaleza del elemento	Verdadera

*Nota:* Elaboración propia

## V. DISCUSION DE RESULTADOS

Lo que se obtuvo de los resultados fue que a mayor concentración de ácido clorhídrico fue mayor la recuperación de Plomo inicial en el lodo, por lo contrario, a menor concentración de ácido clorhídrico fue menor la recuperación. También se obtuvo que a mayor tiempo mayor recuperación como indica la tabla N°18. Esta premisa es apoyada por los autores Marrugo y Urango (2016), quienes obtuvieron valores de 97% de remoción de plomo utilizando 50% de HCl en un tiempo de 3 horas, como primer lavado de lodos.

Mientras que, para los resultados de la recuperación de Cadmio, fue que al 25% de concentración de ácido clorhídrico fue mayor la recuperación de Cadmio inicial en el lodo, por lo contrario, a menor concentración (10%) y mayor concentración (50%) se obtuvo menor recuperación de lodo. También se obtuvo que a mayor tiempo mayor recuperación como indica la tabla N°21. Concordando con Marrugo y Urango (2016), quienes obtuvieron valores de 22.6% de remoción de cadmio utilizando 50% de HCl en un tiempo de 3 horas, como primer lavado de lodos. Y a su vez, difiere de la investigación del autor Fen Wei et al., (2022), presentando resultados con porcentajes de 85% de eliminación de recuperación de cadmio con 0.18M de ácido clorhídrico.

Así mismo, para el Zn a mayor concentración de ácido clorhídrico (50%) fue mayor la recuperación de Zinc inicial en el lodo, por lo contrario, a menor concentración de ácido clorhídrico fue menor la recuperación. También se obtuvo que a mayor tiempo es mayor la recuperación como indica la tabla N°26. Lo cual concuerda con Marrugo y Urango (2016), quienes obtuvieron valores de 22.6% de remoción de zinc utilizando 50% de HCl en un tiempo de 3 horas, como primer lavado de lodos.

Ello es diferente al resultado presentado por Stylianou Marinos et al., (2007), donde empleo un tratamiento de ácido (ácido sulfúrico) en el cual uso un porcentaje similar en su

estudio, con un 20% de concentración de ácido obteniendo sus mejores resultados lo cual brinda una oposición al resultado de la tabla N°26 porque nos presentó los mejores resultados con un 50%. De igual manera el investigador Naoum Constantinos et al., (2001) logro tener la combinación óptima cuando las muestras de lodo estuvieron en contacto con el ácido sulfúrico al 20% durante 60 minutos, lo que respalda al investigador Stylianou Marinos et al., (2007),

Estas diferencias, pueden ser justificadas por las conclusiones determinadas por el autor Jimenez Rodriguez et al., (2009), quien, en su investigación para la recuperación de Zinc del agua de drenaje ácido de mina producida en las áreas mineras, utilizó soluciones variando el pH. A un pH de 3,5 se eliminó parcialmente el Zn, un pH de 5,5, la eliminación de zinc aumentó considerablemente. Concluyendo que la eliminación de zinc era función del pH

Así también, por otro lado, mediante el Diseño Completamente Aleatorizados (DCA), se pudo realizar los supuestos planteados en la presente investigación; donde la prueba de hipótesis DCA para indicar que al menos un tratamiento es diferente y más efectivo que los demás, mediante la  $H_0$  que indica que los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí y con la  $H_a$ , los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí, y sabiendo que la  $H_0$  se acepta cuando  $p\text{-valor} > 0.05$ ; se obtuvo que para el plomo el coeficiente  $F=6266.82$  y un  $p\text{-valor} = 0.000$ , para el cadmio,  $F=11.44$  y un  $p\text{-valor} = 0.000$  y para el zinc,  $F=3134.61$  y un  $p\text{-valor} = 0.000$ , para los tres metales se decide rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna lo cual indica que los tratamientos presentan diferencias entre sí.

Sin embargo, en la prueba de comparación de métodos, donde el valor de la media al presentar gran diferencia entre los tratamientos, indica la efectividad significativa de recuperación del metal en cuestión, obteniendo que, para el plomo y el zinc, el tratamiento 4 (50% HCl), presenta gran diferencia y por consiguiente gran efectividad. Para el caso del cadmio, y según la prueba de hipótesis del DCA, los tratamientos presentan diferencia, pero no

efectividad, esto se debería al ph de la muestra, a la movilidad del metal y a su menor peso molecular que impide ser removido ya que por su movilidad tiende a formar complejos más estables que no permitirían su extracción y recuperación con facilidad.

## VI. CONCLUSIONES

- Los parámetros fisicoquímicos de los lodos procedente de actividades muestran una temperatura de 15.3°C, un pH 6.83 lo que indica una concentración de hidrógeno neutra, una conductividad eléctrica de 2751 uS/cm, una concentración del ion Pb de 19850.16 mg/Kg, del ion Cd en 80.21 mg/Kg y del Zn en 10128.25 mg/Kg.
- La dosis óptima para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras es de 50% de ácido clorhídrico para el Pb, obteniendo una concentración residual de 654.52 mg/Kg en un tiempo de reacción de 240 minutos, de 25% de ácido clorhídrico para el Cd, obteniendo de 56.25 mg/Kg en un tiempo de reacción de 240 min y de igual manera, de 50% para el Zn, obteniendo una concentración de 1094.32 mg/Kg en un tiempo de reacción de 240 min.
- El porcentaje de recuperación fue del 96.7%, con una concentración del 654.52 mg/Kg de plomo, del 29.9%, con una concentración de 56.25 mg/Kg de cadmio y del 89.2% con una concentración de 1094.32 mg/Kg de zinc; siendo el ion Pb el metal con mayor porcentaje de recuperación, y siendo el ion Cd el metal con menor porcentaje de recuperación.
- Por lo que se concluye finalmente que la eficiencia para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras, depende de la dosis de HCl que se agrega a la muestra de lodos, y del tiempo de reacción.

## VII. RECOMENDACIONES

Para la presente investigación se presenta las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda la implementación de tecnologías modernas para el tratamiento efectivo de recuperación de Plomo y Zinc con ácido clorhídrico, ya que, en mayor tiempo nos permitirá tener una recuperación mayor.
- Se recomienda realizar más estudios para el Cadmio con el fin de obtener un mayor porcentaje de recuperación ya que se obtuvo una recuperación máxima de 30%
- Elaborar y desarrollar un plan integral para la recuperación de Plomo, Zinc y Cadmio
- Se recomienda realizar la recuperación a 240 minutos ya que en este tiempo se obtuvo un mayor porcentaje de recuperación.

## VIII. REFERENCIAS

- Agboola, O. (2019). The role of membrane technology in acid mine water treatment: a review. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 36(9), 1389-1400.
- Akinwekomi, V., Maree, J. P. & Wolkersdorfer, C. (2017). Using calcium carbonate/hydroxide and barium carbonate to remove sulphate from mine water. *Mine Water and the Environment*, 36(2), 264-272.
- Ali, A., Shaker, K., Nawab, Y., Jabbar, M., Hussain, T., Militky, J. & Baheti, V. (2018). Hydrophobic treatment of natural fibers and their composites—A review. *Journal of Industrial Textiles*, 47(8), 2153-2183.
- Ali, S. H., Giurco, D., Arndt, N., Nickless, E., Brown, G., Demetriades, A., ... & Yakovleva, N. (2017). Mineral supply for sustainable development requires resource governance. *Nature*, 543(7645), 367-372.
- Barriga, M. & Aranda, D. (2018). Bioaccumulation of lead, cadmium and mercury in *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) and *Aulacomya ater* (Molina, 1782), commercial species from Peru, and risk assessment. *Ecología Aplicada*, 17(1), 53-60.
- Boleji, L. A., Custodio-Villanueva, M., Zapata, F. C. C., Campó, W. J. C. & Fernández, R. P. P. (2021). Bioconcentration and bioaccumulation of toxic metals in *Scirpus californicus* from natural wetlands in the Central Andes of Peru. *Revista Ambiente & Água*, 16.
- Bonsignore, M., Manta, D. S., Mirto, S., Quinci, E. M., Ape, F., Montalto, V., ... & Sprovieri, M. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish, crustaceans, molluscs and echinoderms from the Tuscany coast. *Ecotoxicology and environmental safety*, 162, 554-562.
- Briffa, J., Sinagra, E. & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691.

- Bruneel, O., Mghazli, N., Hakkou, R., Dahmani, I., Maltouf, A. F. & Sbabou, L. (2017). In-depth characterization of bacterial and archaeal communities present in the abandoned Kettara pyrrhotite mine tailings (Morocco). *Extremophiles*, 21(4), 671-685.
- Chorghe, D., Sari, M. A. & Chellam, S. (2017). Boron removal from hydraulic fracturing wastewater by aluminum and iron coagulation: mechanisms and limitations. *Water research*, 126, 481-487.
- Collins, J. & Bolton, J. R. (2016). *Advanced oxidation handbook* (pp. 1-9). American Water Works Association.
- Cox, R. I. (2018). *Hydrogen: Its Technology and Implication: Production Technology-Volume I* (Vol. 1). CRC press.
- Dinçer, İ. & Zamfirescu, C. (2016). *Sustainable hydrogen production*. Elsevier.
- Falagán, C., Grail, B. M. & Johnson, D. B. (2017). New approaches for extracting and recovering metals from mine tailings. *Minerals Engineering*, 106, 71-78.
- Franco, L. F. L., Muñoz, P. T. L., & Garcia, F. G. M. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
- General Engineering and Science. (2016). General Engineering and Science. In *Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering*. (pp. 2-1-2-177). G.P.P.
- Guzzi, G., Ronchi, A. & Pigatto, P. (2021). Toxic effects of mercury in humans and mammals. *Chemosphere*, 263, 127990.
- Hakkou, R., Benzaazoua, M. & Bussière, B. (2016). Valorization of phosphate waste rocks and sludge from the Moroccan phosphate mines: challenges and perspectives. *Procedia Engineering*, 138, 110-118.
- Helepçiuç, C. M., Barbuta, M., Ciocan, V., Serbanoiu, A. A. & Gradinaru, A. C. (2017). Health and environmental effects of heavy metals resulted from fly ash and cement obtaining

- and trials to reduce their pollutant concentration by a process of combining-exclusion. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 17, 441-447.
- Haris, M., Shakeel, A., Hussain, T., Ahmad, G., Ansari, M., & Khan, A. A. (2021). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater through microbes. In: Shah, M.P. (Ed.) *Removal of Emerging Contaminants Through Microbial Processes* (pp. 183-205). Springer.
- Huang, Y., He, C., Shen, C., Guo, J., Mubeen, S., Yuan, J., & Yang, Z. (2017). Toxicity of cadmium and its health risks from leafy vegetable consumption. *Food & function*, 8(4), 1373-1401.
- Hudson-Edwards, K. (2016). Tackling mine wastes. *Science*, 352(6283), 288-290.
- Hudson-Edwards, K. A. & Dold, B. (2015). Mine waste characterization, management and remediation.
- Hussaini, S., Tita, A. M., Kursunoglu, S., Top, S., Ichlas, Z. T., Kar, U., & Kaya, M. (2021). Pb-Zn recovery from a malic leach solution of a carbonate type ore flotation tailing by precipitation and solvent extraction. *Separation and Purification Technology*, 272, 118963.
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), 60.
- Jian, D., Guo, X., Li, X., Deng, Z., Wei, C., Li, M., & Fan, G. (2020). Extraction of indium with N, N-di (1-methylheptyl) acetamide, di (1-methylheptyl) methyl phosphate, and tributylphosphate by solvent extraction in hydrochloric acid solution. *Minerals Engineering*, 156, 106510.

- Jiménez-Rodríguez, AM, Durán-Barrantes, MM, Borja, R., Sánchez, E., Colmenarejo, MF y Raposo, F. (2009). Eliminación de metales pesados del agua ácida de drenaje de minas mediante sulfuro de hidrógeno biogénico y efluentes del tratamiento anaeróbico: efecto del pH. *Revista de materiales peligrosos*, 165 (1-3), 759-765.
- Kefeni, K. K., Msagati, T. A. & Mamba, B. B. (2017). Acid mine drainage: Prevention, treatment options, and resource recovery: A review. *Journal of Cleaner Production*, 151, 475-493.
- Kumar, M. & Pakshirajan, K. (2021). Continuous removal and recovery of metals from wastewater using inverse fluidized bed sulfidogenic bioreactor. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124769.
- Ihedioha, J. N., Ukoha, P. O. & Ekere, N. R. (2017). Ecological and human health risk assessment of heavy metal contamination in soil of a municipal solid waste dump in Uyo, Nigeria. *Environmental geochemistry and health*, 39(3), 497-515.
- Macías, F., Pérez-López, R., Caraballo, M. A., Cánovas, C. R. & Nieto, J. M. (2017). Management strategies and valorization for waste sludge from active treatment of extremely metal-polluted acid mine drainage: a contribution for sustainable mining. *Journal of Cleaner Production*, 141, 1057-1066.
- Macías, F., Caraballo, M. A., Nieto, J. M., Rötting, T. S. & Ayora, C. (2012). Natural pretreatment and passive remediation of highly polluted acid mine drainage. *Journal of environmental management*, 104, 93-100.
- Naeem, M., Mujahid, M., Umer, A., Ahmad, S., Ahmad, G., Ali, J., ... & Khalid, I. (2019). New trends in removing toxic metals from drinking and wastewater by biomass materials and advanced membrane technologies. *J. Bio. Env. Sci*, 15(3), 10-17.

- Naoum, C., Fatta, D., Haralambous, K.J. y Loizidou, M. (2001). Eliminación de metales pesados de lodos de depuradora mediante tratamiento ácido. *Revista de Ciencias Ambientales y Salud, Parte A*, 36 (5), 873-881.
- Navarro, R., Saucedo, I., Núñez, A., Ávila, M., & Guibal, E. (2008). Cadmium extraction from hydrochloric acid solutions using Amberlite XAD-7 impregnated with Cyanex 921 (tri-octyl phosphine oxide). *Reactive and Functional Polymers*, 68(2), 557-571.
- Nikolaidis, P., & Poullikkas, A. (2017). A comparative overview of hydrogen production processes. *Renewable and sustainable energy reviews*, 67, 597-611.
- Nkosi, V. (2018). How Mine Dumps in South Africa Affect the Health of Communities Living Nearby. *The Conversation*, 2.
- Nordberg, G. F., Fowler, B. A., & Nordberg, M. (Eds.). (2014). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Academic press.
- Olafisoye, O. B., Fatoki, O. S., Oguntibeju, O. O., & Osibote, O. A. (2020). Accumulation and risk assessment of metals in palm oil cultivated on contaminated oil palm plantation soils. *Toxicology reports*, 7, 324-334.
- Oteef, M. D., Fawy, K. F., Abd-Rabboh, H. S., & Idris, A. M. (2015). Levels of zinc, copper, cadmium, and lead in fruits and vegetables grown and consumed in Aseer Region, Saudi Arabia. *Environmental monitoring and assessment*, 187(11), 1-11.
- Oyewo, O. A., Agboola, O., Onyango, M. S., Popoola, P., & Bobape, M. F. (2018). Current methods for the remediation of acid mine drainage including continuous removal of metals from wastewater and mine dump. In *Bio-geotechnologies for mine site rehabilitation* (pp. 103-114). Elsevier.
- Park, I., Tabelin, C. B., Jeon, S., Li, X., Seno, K., Ito, M., & Hiroyoshi, N. (2019). A review of recent strategies for acid mine drainage prevention and mine tailings recycling. *Chemosphere*, 219, 588-606.

- Rakotonimaro, T. V., Neculita, C. M., Bussière, B., Benzaazoua, M. & Zagury, G. J. (2017). Recovery and reuse of sludge from active and passive treatment of mine drainage-impacted waters: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(1), 73-91.
- Ribbens, W. B. (2017). *Sensors and Actuators. Understanding Automotive Electronics*, 183–270.
- Rubio, D. I. C., Calderón, R. A. M., Gualtero, A. P., Acosta, D. R., & Sandoval, J. (2015). Tratamientos para la remoción de metales pesados comúnmente presentes en aguas residuales industriales. Una revisión. *Ingeniería y región*, (13), 73-90.
- Silwamba, M., Ito, M., Tabelin, C. B., Park, I., Jeon, S., Takada, M., ... & Hiroyoshi, N. (2021). Simultaneous extraction and recovery of lead using citrate and micro-scale zero-valent iron for decontamination of polluted shooting range soils. *Environmental Advances*, 5, 100115.
- Simate, G. S. & Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3), 1785-1803.
- Squadrone, S., Brizio, P., Stella, C., Mantia, M., Favaro, L., Biancani, B., ... & Abete, M. C. (2020). Differential bioaccumulation of trace elements and rare earth elements in the muscle, kidneys, and liver of the invasive Indo-Pacific Lionfish (*Pterois* spp.) from Cuba. *Biological trace element research*, 196(1), 262-271.
- Stefan, M. I. (Ed.). (2017). *Advanced oxidation processes for water treatment: fundamentals and applications*. IWA publishing.
- Swanson, J.S., Bader, M. & Cherkouk, A. (2021). Potential microbial influence on the performance of subsurface, salt-based nuclear waste repositories. In *The Microbiology of Nuclear Waste Disposal* (pp. 97-117). Elsevier.

- Trilokesh, C. & Uppuluri, K. B. (2021). Biobutanol from lignocellulosic biomass and microalgae: scope, technology, and economics. In *Sustainable Biofuels* (pp. 163-223). Academic Press.
- Wu, W., Jiang, S., Zhao, Q., Zhang, K., Wei, X., Zhou, T., ... & Lu, Q. (2018). Associations of environmental exposure to metals with the risk of hypertension in China. *Science of the Total Environment*, 622, 184-191.
- Yang, C., & Sun, B. (2021). *Modeling, Optimization, and Control of Zinc Hydrometallurgical Purification Process*. Academic Press.
- Zakusilova, V., Zante, G., Tereshatov, E. E., Folden Iii, C. M. & Boltoeva, M. (2022). Extraction and separation of iridium (IV) and rhodium (III) from hydrochloric acid media by a quaternary ammonium-based hydrophobic eutectic solvent. *Separation and Purification Technology*, 278, 118814.
- Zhang, X. W., Yang, L. S., Li, Y.H., Li, H.R., Wang, W. Y. & GE, Q. S. (2011). Estimation of lead and zinc emissions from mineral exploitation based on characteristics of lead/zinc deposits in China. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 21(11), 2513-2519.
- Zhao, M., Xu, Y., Zhang, C., Rong, H. & Zeng, G. (2016). New trends in removing heavy metals from wastewater. *Applied microbiology and biotechnology*, 100(15), 6509-6518.
- Zhou, J., Liang, J., Hu, Y., Zhang, W., Liu, H., You, L., ... & Zhou, J. (2018). Exposure risk of local residents to copper near the largest flash copper smelter in China. *Science of the Total Environment*, 630, 453-461.

## IX. ANEXO

### 9.1. Anexo A: Registro fotográfico

#### Figura 9

*Muestra de lodos procedentes de actividades mineras.*



*Nota: Fotografía propia.*

#### Figura 10

*Muestra de lodos llevado a la estufa para el retiro de humedad.*



*Nota: Fotografía propia.*

**Figura 11**

*Determinación de concentración de los metales pesados por el método de espectrometría de absorción atómica.*



*Nota: Fotografía propia.*

**Figura 12**

*Dosificación de HCl en muestras*



*Nota: Fotografía propia.*

**Figura 13**

*Tratamiento para cada ion metálico.*



*Nota: Fotografía propia.*

## 9.2. Anexo B: Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis General	Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
¿Cuál es la eficiencia para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras?	Evaluar la eficiencia para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras	La recuperación de Pb, Cd y Zn presenta eficiencia por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.	<b>Variable dependiente</b>	La recuperación de uno o varios iones metálicos se genera con la descomposición sobre el cátodo, ocasionando la generación una fase sólida nueva. Ello a través del fin de reducir la contaminación del suelo, agua o aire ocasionados por actividades mineras (Oteef M. et al., 2015).	Para la recuperación de plomo, cadmio y zinc se llevó a cabo, en primer lugar, caracterización fisicoquímica del lodo procedente de las actividades mineras, después de realizó diversas corridas del tratamiento de extracción ácida; para ello se usó el ácido clorhídrico (HCl).	Características fisicoquímicas	T°	°C
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Especifico</b>	Recuperación de plomo, cadmio y zinc			Eficiencia	Pb, Cd y Zn	mg/kg
¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos de los lodos procedente de actividades mineras?	Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de los lodos procedente de actividades mineras.	Los parámetros fisicoquímicos presentan recuperación de los niveles de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.	<b>Variable independiente</b>	El tratamiento de extracción ácido es el proceso por el cual se adiciona ácidos como ácido, sulfúrico, ácido clorhídrico, entre otros, para fraccionar a la biomasa y generar su recuperación, extrayéndolas del medio en el que se encuentren (Rubio D. et al., 2015).		HCl	Dosis	%
¿Cuál es la dosis óptima para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras?	Determinar la dosis óptima para la recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.	La dosis óptima genera recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.			Se realizará el tratamiento extracción ácida usando diferentes dosis de HCl (10, 15, 25 y 50%), realizando 4 ensayos para cada ion metálico, en el cual cada uno presenta dos corridas variando el tiempo (60, 120, 180 y 240 min.).		Peso de lodo	gr
¿Cuál es el porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras?	Determinar el porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn por extracción ácida.	El mayor porcentaje de recuperación de Pb, Cd y Zn se da por extracción ácida en lodos procedentes de actividades mineras.	Extracción acida en lodos procedentes de actividades mineras			Solución	Volumen	ml

Nota: Fotografía propia.