



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ALTIPLANO**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA**



**TESIS**

**BIOSORCIÓN DE METALES PESADOS TOTALES DE AGUA RESIDUAL DE  
LA MINA LA RINCONADA CON BIOMASA DE WARAQO (*Echinopsis  
maximiliana*)**

**PRESENTADA POR:**

**DELFIN LEON HANCCO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**CON MENCIÓN EN: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

**PUNO, PERÚ**

**2023**

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**BIOSORCIÓN DE METALES PESADOS TO  
TALES DE AGUA RESIDUAL DE LA MINA  
LA RINCONADA CON BIOMASA DE WAR  
AQQ**

AUTOR

**DELFIN LEON HANCCO**

RECuento DE PALABRAS

**19829 Words**

RECuento DE CARACTERES

**97655 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**94 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**4.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**May 8, 2024 7:06 PM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**May 8, 2024 7:07 PM GMT-5**

● **2% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

  
**SALOMON TITO LEON**  
INGENIERO QUIMICO  
Registro del Colegio de Ingenieros N° 23926



  
Ing. MSc. Ingrid E. Coyle  
DOCENTE FIQ - UNA - PUNO  
CIP. 61589

Resumen



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE ALTIPLANO

## ESCUELA DE POSGRADO

### MAESTRÍA EN CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA

#### TESIS

**BIOSORCIÓN DE METALES PESADOS TOTALES DE AGUA RESIDUAL DE  
LA MINA LA RINCONADA CON BIOMASA DE WARAQO (*Acetivibrio  
maximiliana*)**



**PRESENTADA POR:**

**DELFIN LEON HANCCO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**CON MENCIÓN EN: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL**

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

  
.....  
D.Sc. WALTER ALEJANDRO ZAMALLOA CUBA

PRIMER MIEMBRO

.....  
M.Sc. JUAN JOSÉ PAURO ROQUE

SEGUNDO MIEMBRO

  
.....  
Mtro. HIGINIO ALBERTO ZÚÑIGA SANCHEZ

DIRECTOR /ASESOR

  
.....  
M.Sc. SALOMÓN TTITO LEON

Puno, 21 de setiembre de 2023

**ÁREA:** Investigación

**TEMA:** Tecnologías Ambientales y Recursos Naturales

**LÍNEA:** Recursos Naturales y Medio Ambiente



## DEDICATORIA

A mi señor padre Nicolás y familiares, por su apoyo incondicional a mis superaciones y victorias en la vida, por iluminarme con más de mil consejos en el camino del ocaso de mi existencia.



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, y en particular a la Facultad de Ingeniería Química por brindarme una segunda oportunidad para estudiar la maestría en Ciencias con mención en Seguridad Industrial y Ambiental.

Expresar mi agradecimiento a la Dra. Edith Tello Palma y al Ing. M.Sc. Salom Ttito León por su esencial colaboración, generosidad y orientación para completar mi tesis.



## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	1

### CAPÍTULO I

#### REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Biomasa de Waraqqo ( <i>Echinopsis maximiliana</i> )	3
1.1.2. Biosorción	5
1.1.3. Metales pesados	9
1.1.4. Metales pesados totales (MPT)	13
1.1.5. Agua residual	14
1.2. Antecedentes	16
1.2.1. Ámbito local	16
1.2.2. Ámbito nacional	16
1.2.3. Ámbito internacional	18

### CAPÍTULO II

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	21
2.2. Enunciados del problema	22
2.2.1. Problema general	22
2.2.2. Problema específico	22
2.3. Justificación	22
2.4. Objetivos	25
2.5. Hipótesis	25

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS



3.1. Lugar de estudio	26
3.2. Población	26
3.3. Muestra	26
3.3.1. Descripción de muestreo	26
3.4. Método de investigación	27
3.4.1. Descripción de procedimientos para la concentración inicial de metales pesados totales	27
3.4.2. Descripción de procedimientos para la concentración final de metales pesados totales	29
3.4.3. Tipo y Diseño de estudio	32
3.4.4. Variables	33
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	33
3.5.1. Descripción de variables analizadas	33
3.5.2. Descripción de materiales	35
3.5.3. Aplicación de prueba estadística inferencial	36
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
4.1. Resultados de la concentración inicial de metales pesados totales	37
4.1.1. Análisis de parámetros de campo de agua residual	37
4.1.2. Resultados del análisis de agua residual	37
4.2. Resultados de la concentración final de metales pesados totales	42
4.2.1. Obtención del biosorbente	42
4.2.2. Parámetros óptimos de operación	45
4.3. Resultados estadísticos	55
4.3.1. Prueba de hipótesis	55
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	58
BIBLIOGRAFÍA	59
ANEXOS	66



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
1. Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados	6
2. Grupos funcionales que intervienen durante la biosorción de metales pesados	8
3. Fuentes de los metales pesados y su efecto	12
4. Límites Máximos Permisibles (LMP) para descarga de efluentes	24
5. Parámetros físico químicas de agua residual	28
6. Factores y niveles de pH y tiempo	32
7. Variables analizadas por objetivos	33
8. Resultados de análisis de parámetros mínimos de campo	37
9. Resultados de determinación de metales pesados totales	38
10. Resultados de porcentaje de humedad y densidad	42
11. Resultados del pH de biosorbente	42
12. Picos de vibración y grupos funcional asociado	44
13. Resultados de biosorción según los parámetros de diseño	46
14. Resultados de biosorción de metales pesados según parámetros óptimos	47
15. Datos de análisis estadístico por diferencias	55





## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
1. Mecanismos de biosorción de metales pesados	7
2. Esquema del proceso de biosorción	7
3. Diagrama de flujo de obtención de biosorbente y remoción de metales pesados	31
4. Porcentaje de remoción de Al, Fe, Mn, Zn y Sr	50
5. Porcentaje de remoción de Ni, Co, As, Ba y Pb	51
6. Porcentaje de remoción de Cu, Cr, Hg, Ag y Ti	52
7. Comparación de agua residual y tratada con el D.S. 010 - 2010 – MINAM	53
8. Comparación de agua residual y tratada con el D.S. 004 - 2017 – MINAM	54
9. Estadística de prueba	56



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
1. Waraqqo ( <i>Echinopsis maximiliana</i> )	66
2. Obtención del Biosorbente	66
3. Propiedades físicas del biosorbente	67
4. Muestreo de agua residual	68
5. Pruebas de biosorción	69
6. Análisis Químico de biomasa del Biosorbente	71
7. Certificado de los resultados de análisis	73
8. Normativa para la descarga de efluentes líquidos para actividad minero-metalúrgicas	80

## RESUMEN

El presente estudio, trata de biosorción de metales pesados totales de agua residual de la mina, ubicado en el centro poblado de la mina la Rinconada de la Región Puno, debido, al vertimiento directo de aguas residuales a las escorrentías y ríos, donde se viene extrayendo el mineral oro de manera informal; para tal efecto, como objetivo de estudio se planteó evaluar el nivel de concentración inicial y concentración final de metales pesados totales de agua residual antes y después del uso de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*). Se aplicó la técnica de laboratorio, se preparó un biosorbente, para lo cual, la biomasa se activó en dos etapas con solución hidrólisis ácida de HNO<sub>3</sub> 0,3N y alcalina con NaOH 0,9M; la muestra fue tomada de las aguas residuales de la laguna de Lunar de oro, el estudio se desarrolló con 0,3 gramos de biosorbente en un volumen de 150 mL, a un pH 10,0 y 12,10 y en tiempo de 60 minutos. Como resultado se logró remover: Al un 85,97% (19,1 a 2,68 mg/L), Fe un 99,51% (11,6 a 0,06 mg/L), Mn un 97,49 % (6,7095 a 0,17 mg/L), Zn un 99,85% (2,04 a 0,0031 mg/L), Ni un 94,48 % (0,5525 a 0,0305 mg/L), Co un 93,76 % (0,2133 a 0,0133 mg/L), As un 83,24% (0,179 a 0,03 mg/L), Pb un 96,84% (0,0822 a 0,0026 mg/L), Cu un 90,74% (0,0216 a 0,0020 mg/L), Cr un 95,54% (0,0157 a 0,0007 mg/L) y Hg un 95,40% (0,0087 a 0,0004 mg/L).

**Palabras clave:** Agua residual, biosorción, biomasa, mina la rinconada, metales pesados totales, Waraqqo.

## ABSTRACT

The present study deals with biosorption of total heavy metals from the mine wastewater, located in the town center of the Rinconada mine in the Puno Region, due to the direct discharge of wastewater into runoff and rivers, where the gold ore is being extracted informally; for this purpose, the objective of the study was to evaluate the initial and final concentration level of total heavy metals in wastewater before and after the use of Waraqqo biomass (*Echinopsis maximiliana*). The laboratory technique was applied, a biosorbent was prepared, for which the biomass was activated in two stages with acidic hydrolysis solution of 0.3N HNO<sub>3</sub> and alkaline with 0.9 M NaOH; The sample was taken from the wastewater of the Lunar de Oro lagoon. The study was develop with 0.3 grams of biosorbent in a volume of 150 mL, at pH of 10.0 and 12.10 and in a time of 60 minutes. As a result, it was possible to remove: Al 85.97% (19.1 to 2.68 mg/L), Fe 99.51% (11.6 to 0.06 mg/L), Mn 97.49% (6.7095 to 0.17 mg/L), Zn 99.85% (2.04 to 0.0031 mg/L), Ni 94.48% (0.5525 to 0.0305 mg/L), Co 93.76% (0.2133 to 0.0133 mg/L), As 83.24% (0.179 to 0.03 mg/L), Pb 96.84% (0.0822 to 0.0026 mg/L), Cu 90.74% (0.0216 to 0.0020 mg/L), Cr 95.54% (0.0157 to 0.0007 mg/L) and Hg 95.40% (0.0087 to 0.0004 mg/L).

**Keywords:** Biomass, biosorption, la Rinconada mine, Residual water, total heavy metals, Waraqqo.



Dra. Ing. Ruth A. Meza Duman  
CIP. 90563

## INTRODUCCIÓN

Estamos en el siglo XXI, la contaminación ambiental de nuestros recursos hídricos producto de la actividad de minería informal, es muy preocupante en el centro poblado La Rinconada, Cerro Lunar de Oro, distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina; afectando la cabecera de la cuenca del río Ramis con agentes químicos, físicos, biológicos; el crecimiento y mal uso de la evolución de tecnologías generan Impactos Negativos, y a la vez, la producción de productos contaminantes (No ecológicos) es aprovechado irracionalmente “decadente en conciencia ambiental.

En los centros poblados de la Rinconada y Lunar de Oro, existen casos en que las aguas residuales y los desechos mineros son vertidos directamente a los drenes naturales, en unos casos con desconocimiento y en otros con conocimiento de las sanciones establecidas por el Decreto Legislativo N° 1351, decreto que reforma el código penal por delitos de contaminación ambiental; las áreas o áreas que están contaminadas con responsabilidad ambiental y aguas residuales pueden dañar los ecosistemas terrestres y acuáticos y dañar la salud humana, especialmente los metales pesados.

Para la Agencia de Protección al Ambiente (EPA), los metales pesados se consideran contaminantes de acuíferos porque son altamente tóxicos, persistentes y móviles; muchos metales pesados peligrosos han sido liberados al medio ambiente, debido a su toxicidad en bajas concentraciones, presentan riesgos significativos para la salud humana y el equilibrio ecológico en general.

Ley N° 28611, Ley general de Ambiente, modificada por el decreto Legislativo N° 1055, en su Artículo 1º, del derecho y deber fundamental, se interpreta que, toda persona tiene el derecho inalienable de vivir en un medio ambiente sano, equilibrado y suficiente para el pleno desarrollo de la vida, así como la obligación de contribuir a la gestión eficaz del medio ambiente y a la protección del medio ambiente y sus componentes, en particular asegurando la preservación individual y colectiva de la salud humana, la biodiversidad, uso sostenible de los recursos naturales y desarrollo sostenible del país; motivo por el cual, en el presente estudio, se ha optado minimizar la contaminación por metales pesados utilizando la biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) como un biosorbente natural, limpia, viable y con alto rendimiento de remover los metales pesados en aguas residuales de la mina la Rinconada; frente a ello, varios estudios han demostrado, así como (Basso et al., 2002), señala que la biomasa de diferentes especies de bacterias,

hongos y algas es capaz de concentrar en su estructura iones metálicos que se encuentran en ambientes acuáticos.

La "biosorción" implica la remoción de contaminantes en base a características de tipos específicos de biomasa viva o muerta a través de fenómenos físicos como adsorción, intercambio iónico o procesos metabólicos, este método es muy eficaz para eliminar trazas metálicas y puede ser preciso, selectivo que solo tarda unos minutos el proceso de tratamiento, puede ser preciso y selectivo (Obelholser y Garrity, 1992).

Se han llevado a cabo numerosos estudios para evaluar los contaminantes y evaluar el impacto ambiental de la minería, en efecto Fernández (2019) encontró metales pesados en el río Puyango Tumbes con concentraciones de mercurio (Hg) 0,0001 mg/L, plomo (Pb) 0,029 mg/L, arsénico (As) 0,012 mg/L y una cantidad de cianuro (CN<sup>-</sup>) de 0,561 mg/L.

La importancia del estudio se centra en la alta concentración de metales pesados y su acumulación continua en los seres vivos, que es una de las alternativas al proceso de biosorción, que involucra materiales biológicos y se cree que es un mecanismo para la eliminación de metales pesados

Con el uso de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*), se investigó la biosorción de metales pesados en aguas residuales de operaciones mineras, la investigación se enfoca en la detección, evaluación y gestión de impactos ambientales a través de un proceso de monitoreo basado en la educación ambiental y bajo el compromiso de salvaguardar los recursos hídricos, cuidar y preservar el medio ambiente, para lo cual, la técnica de biosorción fue exitosa en la remoción de metales pesados.

En el presente trabajo, se investigó la biosorción de metales pesados en aguas residuales mineras utilizando biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*); nuestra línea de investigación es detectar, evaluar y controlar el impacto ambiental a través de un proceso de monitoreo y estamos comprometidos a proteger los recursos hídricos, cuidar y proteger el medio ambiente, lo cual, se puede lograr con la tecnología de eliminación de metales pesados por el método de biosorción.

## CAPÍTULO I

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 1.1. Marco teórico

##### 1.1.1. Biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*)

###### 1.1.1.1. Biomasa

Fernández (2004) el término “biomasa” se define como un conjunto de materiales orgánicos caracterizados por su origen (vegetal o animal) y sus propiedades, también incluye residuos y desechos orgánicos que pueden ser aprovechados.

Selatnia et al. (2004) el uso de biomasa de algas, hongos y bacterias como materiales bioacumulativos se reconoce cada vez más como una alternativa viable para la eliminación de compuestos tóxicos de las aguas residuales.

los absorbentes naturales, también conocidos como biosorbentes, absorbentes no convencionales o verdes, se producen no solo a partir de materia viva o biomasa, sino también de residuos alimentarios, agrícolas y ganaderos. De igual forma, Cañizares (2000) consideró el uso de sistemas biológicos para la remoción de metales pesados de medios líquidos, un proceso eficiente y de bajo costo (Valladares et al., 2017).

De acuerdo con la definición anterior, la biomasa se define como un conjunto de materiales orgánicos caracterizados por su origen (vegetal o animal) y sus propiedades, incluidos los residuos y desechos orgánicos que pueden ser aprovechados, así como la biomasa de algas, hongos. Los adsorbentes muy tradicionales o los adsorbentes verdes bioacumulativos se reconocen cada vez más como sistemas biológicos alternativos viables para la eliminación de

metales pesados de medios líquidos y se consideran un proceso eficiente y económico.

#### 1.1.1.2. Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*)

Navarro (1996) Echinopsis se define como un nombre común derivado de echino ("erizo de mar o erizo de mar") y opsis ("apariciencia"), en referencia a las densas espinas que se encuentran en algunas de estas plantas, además:

Suele formar pequeñas almohadillas, los tallos son cilíndricos, esféricos, de color verde o cortos, de hasta 5 cm de diámetro y 20 cm de altura, tiene de 12 a 20 costillas rectas que están muescas y anudadas, las aberturas en el son blancas, separadas hasta 2 cm, con 11 a 56 espinas, que en casos raros pueden estar ausentes, y son muy variables; en general, las espinas centrales son indistinguibles de las espinas radiales, as espinas son curvas, irregulares, de color amarillo-marrón, de 3 a 5 cm de largo, las flores tienen forma de embudo y aparecen a los lados del tallo, y en las ramas superiores son de color rojo, amarillo anaranjado o púrpura, a veces con garganta amarilla o rosada, las flores miden de 4 a 10 cm de largo y aproximadamente esa longitud de diámetro y los frutos son de color rojo verdoso, peludos, de hasta 1,2 cm de diámetro (Navarro, 1996).

#### 1.1.2.3. Clasificación taxonómica

Heyder (1846) publicado en un ilustrado revista de botánica se describió la siguiente clasificación taxonómica de Waraqqo:

**Reino:** Plantae

**Subreino:** Tracheobionta

**División:** Magnoliophyta

**Clase:** Magnoliopsida

**Subclase:** Caryophyllidae

**Orden:** Caryophyllales

**Familia:** Cactaceae

**Subfamilia:** Cactoideae

**Tribu:** Trichocereae

**Género:** Echinopsis

**Especie:** *Echinopsis maximiliana*.



García et al. (2011) la capacidad de los biosorbentes para adsorber especies de metales iónicos en soluciones acuosas es apropiada para la biorremediación y regeneración de aguas residuales industriales contaminadas con metales pesados.

### **1.1.2. Biosorción**

La biosorción es un proceso de control ambiental biológico que consiste en la eliminación de contaminantes utilizando biomasa inerte; este proceso tiene lugar a través de fenómenos físicos (adsorción) y fenómenos químicos (intercambio iónico), este método ha demostrado ser muy eficaz en la eliminación de especies metálicas (Areco, 2011). Asimismo, el proceso involucra una fase sólida (biosorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene los solutos (adsorbato) a ser adsorbidos debido a que el biosorbente tiene una alta afinidad por el adsorbato (Mori et al., 2013).

El proceso de adsorción implica la acumulación o concentración de sustancias en una superficie o interfaz, dicho proceso puede tener lugar en la interfaz de un sistema de dos fases, como un sistema líquido – líquido, gas – sólido o líquido-sólido en el tratamiento de aguas residuales, este último es de suma importancia (Leiva et al., 2012).

El término "bioadsorción" se refiere a un sistema en el que un sorbato (átomos, moléculas o iones moleculares) interactúa con un bioadsorbente, la superficie sólida de una matriz biológica, y el ácido sórbico se acumula en la interfase del bioadsorbente – Sorbato, reduce la concentración de sorbato en solución (Borda y Sparks, 2008).

Jbari y Nohman (2012) el proceso involucra una fase sólida (biosorbente) y una fase líquida (solvente) que contiene los solutos (adsorbato) a ser adsorbidos debido a que el biosorbente tiene una alta afinidad por el adsorbato.

La biosorción es un proceso biológico ambientalmente controlado que implica la eliminación de contaminantes mediante fenómenos físicos como la adsorción, el intercambio iónico o procesos metabólicos basados en las propiedades de ciertos tipos de biomasa viva o muerta para lograr una eliminación precisa y selectiva de los contaminantes. Método que requiere unos minutos de

tratamiento; además, el procedimiento es muy eficaz en la eliminación de sustancias metálicas (Obelholser y McGarrity, 1992).

### 1.1.2.1. Proceso de biosorción

Fomina y Gadd (2014) el proceso de biosorción se define como un proceso fisicoquímico en el que se capturan compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en soluciones acuosas para retirarlos o recuperarlos del medio en el que se encuentran; asimismo Rayson y Williams (2011) considera que la capacidad de los biosorbentes para adsorber especies de metales iónicos en soluciones acuosas es adecuada para la biorremediación y regeneración de aguas residuales industriales contaminadas con metales pesados; por un lado He y Chen (2014) sostiene que los mayoría de grupos funcionales más importantes en el proceso de biosorción son carboxilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y amina; del mismo modo, Won et al. (2014) sostiene que los grupos carboxilo son los más importantes para capturar iones metálicos, seguidos de los sulfatos unidos a polisacáridos y proteínas.

### 1.1.2.2. Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados

Existen muchos mecanismos que explican la retención o secuestro de metales en varias partes de los biosorbentes.

Tabla 1

*Mecanismos implicados en la biosorción de metales pesados*

Mecanismos	Definición
<b>Complejación</b>	Los metales se unen a centros activos en la pared celular a través de enlaces químicos, formando complejos específicos.
<b>Adsorción física</b>	La conexión entre la superficie adsorbente y el metal se establece por atracción electrostática o fuerzas de Van Der Waals. En este caso, la biosorción es rápida y reversible.
<b>Intercambio iónico</b>	La mayoría de los adsorbentes contienen sales de $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{+2}$ y $\text{Mg}^{+2}$ en su estructura, por lo que retienen iones metálicos divalentes a cambio de iones polisacáridos.
<b>Quimiosorción</b>	Los enlaces entre los adsorbentes y los metales se forman mediante enlaces químicos a través del intercambio de electrones.
<b>Precipitación</b>	Esto está relacionado con algunos mecanismos de defensa microbianos que pueden producir sustancias que precipitan elementos tóxicos que se acumulan en el ambiente dentro o alrededor del microorganismo.

Fuente: Kumar (2013) y Muñoz (2007). Biosorción de metales pesados.

El proceso de biosorción es un proceso altamente complejo que involucra múltiples mecanismos involucrados en la deposición o secuestro de metales pesados. Algunos de estos mecanismos de intercambio iónico y formación de complejos se muestran en la siguiente figura:

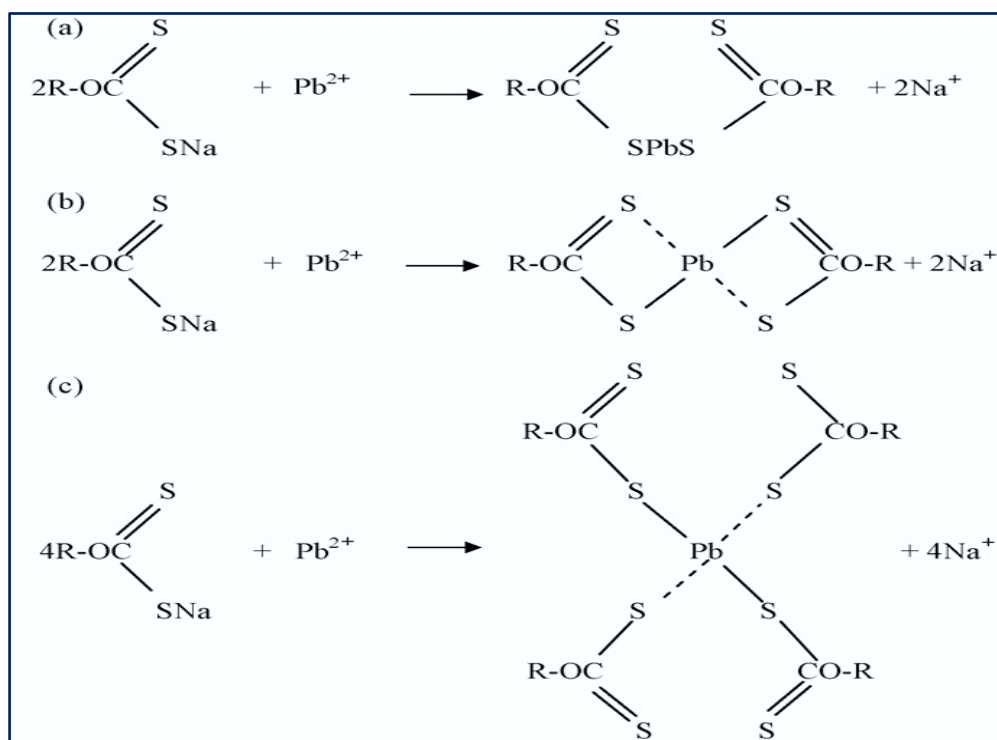


Figura 1. Mecanismos de biosorción de metales pesados

Fuente: Liang et al. (2009). Application of orange peel xanthate for adsorption of  $Pb^{2+}$  from aqueous solution. Journal Hazardous Materials

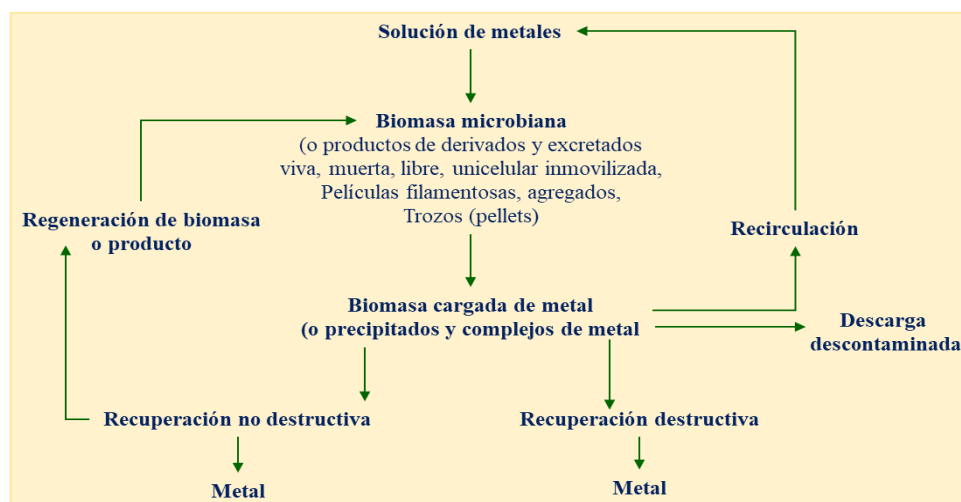


Figura 2. Esquema del proceso de biosorción

Fuente: Gadd (1988). Revista latinoamericana.

Durante el proceso de biosorción, intervienen distintos grupos funcionales presentes en una biomasa, tal como se observa en la siguiente Tabla:

Tabla 2

*Grupos funcionales que intervienen durante la biosorción de metales pesados*

Grupo de Unión	Fórmula Estructural	pKa	HSAB Classif.	Átomo Ligando
Hidroxilo	<b>-OH</b>	9,5 – 13	Duro	O
Carbonilo (Cetona)	<b>&gt;C=</b>	---	Duro	O
Carboxilo	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{O}-\text{H} \end{array}$	1,7 – 4,7	Duro	O
Sulfhidrido (Tiol)	<b>-SH</b>	8,3 – 10,8	Suave	S
Sulfonato	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{O}=\text{S}=\text{O} \end{array}$	1,3	Duro	O
Tioester	<b>&gt;S</b>	---	Suave	S
Amina	$\begin{array}{c}   \\ \text{O}=\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	8 – 11	Intermediario	N
Amina Secundaria	<b>&gt;NH</b>	13	Intermediario	N
Amida	<b>-NH<sub>2</sub></b>	---	Intermediario	N
Imina	<b>=NH</b>	11,6 – 12,6	Intermediario	N
Imidazol	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{C}=\text{CH} \\   \quad   \\ \text{HN} \quad \text{N} \\   \\ \text{C} \\   \\ \text{H} \end{array}$	6	Suave	N
Fosfonato	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{R}-\text{O}-\text{P}-\text{OH} \\   \\ \text{OH} \end{array}$	0,9 – 2,1 6,1 – 6,8	Duro	O
Fosfodiester	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{HO}-\text{P}-\text{O}-\text{R}_2 \\   \\ \text{O}-\text{R}_1 \end{array}$	15	Duro	O

**Fuente:** Volesky (2007). Review: Biosorption and me. Water Research

### 1.1.2.3. Ventajas de la biosorción

El uso de residuos de plantas para el tratamiento de aguas residuales requiere tecnología simple, bajos requisitos de tratamiento, adsorción selectiva de iones

de metales pesados, barato, gratuito y fácil de regenerar (Fadzil et al., 2016); asimismo, según Salas (2010) estos procesos utilizan biomateriales que actúan en tiempos cortos de contacto, produciendo efluentes de alta calidad y reduciendo el volumen de sedimento químico y/o biológico que se desecha. Esto hace que los procesos sean muy efectivos para detoxificar efluentes muy diluidos.

### 1.1.3. Metales pesados

Los metales pesados, según Fergusson (1990) es considerado como “aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua y cuyas concentraciones en el ambiente puede causar daños en la salud de las personas”; del mismo modo, según Alonso (2008), señala “Cualquier catión que tenga un peso atómico superior a 23, se considera un metal pesado; entre ellos, se puede destacar el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro, mercurio, entre otros” y por otra parte OEFA (2015) señala que el agua residual es agua cuyas propiedades originales han sido modificadas por la actividad humana y, debido a su calidad, requiere un tratamiento previo antes de su reutilización, vertido en cuerpos de agua naturales o sistemas de alcantarillado.

Los metales pesados son un grupo de casi 40 elementos de la tabla periódica que tienen densidades mayores o iguales a 5 g/cm<sup>3</sup>. Una característica importante de la fisiología de los metales pesados es que, aunque muchos de ellos son muy importantes para el crecimiento, como el sodio (Na), el potasio (K), el magnesio (Mg), el calcio (Ca), el vanadio (V), el manganeso (Mn) informaron que el hierro (Fe), el cobalto (Co), el níquel (Ni), el cobre (Cu), el zinc (Zn) y el molibdeno (Mo) son tóxicos para las células principalmente a través de su capacidad para alterar o desnaturalizar proteínas (Inno, 2009).

El concepto de metal pesado puede tener diferentes acepciones:

- ❖ Todo metal que tenga densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup>.
- ❖ Todo metal con número atómico superior al del Na ( $Z = 11$ ).
- ❖ Todo metal con peso atómico comprendido entre 63,546 y 200,590.
- ❖ Todo metal que sea potencialmente tóxico para los sistemas biológicos.

Los metales pesados más tóxicos son el cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel,

plomo y zinc. La importancia de esta clase de toxinas es que tienden a acumularse y concentrarse en diferentes especies, haciéndolas más peligrosas a medida que avanzan en la cadena evolutiva hacia los humanos.

Los metales pesados son elementos con densidad, peso atómico y número atómico superior a 5 g/cm<sup>3</sup> (44,956 y 20 respectivamente), excluyendo los elementos de los grupos alcali, alcalinotérreo, lantánido y actínido.

Los metales pesados son metales esenciales (Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, V, etc.) y metales no esenciales (Cr, Cd, Hg, Pb, As, Sb, etc.) que realizan alguna función biológica a nivel concentraciones traza Cuando se desconoce la función científica (Cortuelo et al., 1999 y Förstner et al., 1983).

Los metales pesados son un grupo de elementos con propiedades metálicas como los metales de transición, algunos semimetales, lantánidos y actínidos. El criterio de clasificación más común es la gravedad específica, dependiendo de si un elemento con una densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup> pertenece a este grupo; sin embargo, algunos autores consideran inapropiada esta definición, ya que la gravedad específica no indica la reactividad o toxicidad del metal (Duffus 2002, Volke-Sepulveda et al. 2005). Por consiguiente, Alloway (2013) sostiene el término "metal", se refiere a cualquier metal o metaloide que pueda causar problemas de toxicidad.

Los metales pesados son uno de los contaminantes ambientales más peligrosos, porque no son biodegradables y pueden acumularse en el cuerpo. Se consideran a los siguientes metales cadmio (Cd), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn). (Basterrechea et al., 2003 y Calderón, 1997).

Según Fiel (2015) el término metal pesado se refiere a elementos químicos metálicos que son relativamente densos y tóxicos o de baja concentración y tóxicos.:

- ❖ *Peso atómico entre 63.546 y 200.590.*
- ❖ *Ejemplos de metales no esenciales: mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb).*
- ❖ *Ejemplos de metales traza: cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), vanadio (V), selenio (Se), y zinc (Zn)*

Los metales pesados se clasifican en tres clases de acuerdo a sus funciones y efectos

biológicos:

- 1) *Metales esenciales con funciones biológicas conocidas que se requieren en pequeñas cantidades como nutrientes para los organismos vivos (Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo y W).*
- 2) *Metales tóxicos (Ag, Cd, Cr, Sn, Au, Hg, Ti, Pb, Al y metaloides Ge, As, Sb, Se) y 3) metales no esenciales que pueden ser nocivos incluso en bajas concentraciones. Es tóxico y se desconocen sus efectos biológicos (Rb, Cs y Sr) (Roane y Pepper, 2000) y (Lucho et al., 2005).*

Los metales pesados potencialmente tóxicos se pueden dividir en dos categorías:

- 1) *Metales de transición: Co, Fe, Cu, Mn, Zn. Es esencial para el metabolismo a bajas concentraciones, pero puede ser tóxico a altas concentraciones.*
- 2) *Metales o metaloides: Pb, Cd, Hg, As, Cr, Se y Sn. No son necesarios para el metabolismo y son potencialmente tóxicos incluso en bajas concentraciones. (Páez-Osuna, 2005).*

Los metales pesados son elementos químicos con pesos atómicos entre 63,55 (Cu) y 200,59 (Hg) y pesos específicos superiores a 4 (g/cm<sup>3</sup>). Tenga en cuenta que esta categoría incluye prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, es decir, la minería. (Baird C., 2014).

Estos son elementos químicos con densidades superiores a unos 6,0 g/cm<sup>3</sup>. Las excepciones son el titanio, que tiene una densidad baja (4,5 g/cm<sup>3</sup>) y el arsénico (As), que normalmente se clasifica como un metal pesado porque es un no metal y tiene una densidad alta (5,7 g/cm<sup>3</sup>) características ambientales únicas (Doménech y Peral, 2012).

La mayoría de los metales son tóxicos, incluidos Al, Ar, Be, Bi, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, Sr, Sn, Ti y Zn. Prácticamente indestructible en el medio ambiente. (Masters y Ela, 2008).

Tabla 3

*Fuentes de los metales pesados y su efecto*

<b>Metal pesado</b>	<b>Fuente</b>	<b>Efectos tóxicos</b>
<b>Ni</b>	Recubrimiento de metales; Aleaciones, Baterías, Catalizadores, Pigmentos.	Dermatitis, náuseas y cancerígeno de alta dosis.
<b>Cu</b>	Se encuentran en el revestimiento de metales, la minería y la corrosión.	Es tóxico para las algas y las plantas, pero no es muy dañino para los animales, especialmente su sistema digestivo.
<b>Zn</b>	Se encuentra en recubrimientos metálicos, aleaciones, pigmentos, pinturas y catalizadores.	A altas concentraciones, se cree que tienen efectos fitotóxicos.
<b>Cd</b>	Presente en carbón, minería y metalmecánica.	Las enfermedades renales y cardiovasculares, la hipertensión, reemplazan bioquímicamente al zinc.
<b>Pb</b>	Presente en la minería, carburantes, pinturas, corrosión.	Es altamente tóxico para niños y mujeres embarazadas, causando daño al sistema nervioso, riñones y anemia.
<b>Hg</b>	Industria química, fungicidas. Minería y carbón,	Toxicidad aguda y crónica. Daño al sistema nervioso y riñones.

**Fuente:** Orozco et al., (2008). Contaminación Ambiental, Una visión desde la Química.

La toxicidad del aluminio y los riesgos para la salud: En los seres humanos, el sistema nervioso es más sensible a la exposición al aluminio y se ha observado su asociación con enfermedades como la enfermedad de Alzheimer, la encefalopatía por diálisis (cuando los pacientes están expuestos a altas concentraciones de aluminio) y la demencia de la enfermedad de Parkinson (Guo y Wan, 2011).

El aluminio se acumula en el tejido óseo y la administración de dosis terapéuticas de aluminio inhibe el desarrollo tardío de CFU-E de células progenitoras eritroides en ratas con función renal normal; dosis más altas de aluminio disminuyen el volumen del bulbo y la concentración de hemo, aumentan la resistencia osmótica y acortan la vida media de los glóbulos rojos (Garbossa, 1996).



#### 1.1.4. Metales pesados totales (MPT)

Al respecto de los metales pesados, Alloway (2013) Considera como "un metal o metaloide que puede causar problemas tóxicos". También Basterrechea et al. (2003) y Calderón (1997) son considerados "los elementos químicos más peligrosos del medio ambiente" por no ser biodegradables.

Los metales pesados se clasifican en:

a) Los oligoelementos o micronutrientes requeridos en cantidades pequeñas o trazas por plantas y animales dentro de este grupo son As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se, Zn y estos elementos menores están presentes en concentraciones muy bajas, presentes en el suelo y el agua, las concentraciones más altas de estos elementos se vuelven tóxicas para los organismos a medida que la vida evoluciona y se adapta a esta disponibilidad (Guevara, 1995).

b) Un metal pesado de función biológica desconocida. Cuando está presente en cierta cantidad en un organismo, causa disfunción de ese organismo. Estos son altamente tóxicos y tienen la propiedad de acumularse in vivo. Estos son principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Ni, Sb, Bi Son metales tóxicos cuyas concentraciones en el ambiente pueden ser perjudiciales para la salud humana (Guevara, 1995).

Por otro lado, los metales pesados se clasifican en tres categorías:

a) No críticos: Na, K, Mg, Ca, H, N, C, P, Fe, S, Cl, Br, F, Li, Rb, Sr, Si, Mn y Al\*.

El aluminio es tóxico para la biota, tanto terrestre como acuática, cuando se moviliza a un pH bajo (Förstner, 1989).

b) Tóxicos pero muy insolubles: Ti, Hf, Zr, W, Nb, Ta, Re, Ga, Os, Rh, Ir, Ru y Ba.

c) Muy tóxicos y relativamente disponibles: Be, Co, Ni, Cu, Zn, Sn, Cr, As, Se, Te, Pd, Ag, Cd, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Sb y Bi (Wood, 1974).

Passow y Clarkson (1961) sostiene que los metales pesados forman un grupo cercano a los 40 elementos de la tabla periódica y tienen densidades de al menos 5 g/cm<sup>3</sup>; además, según Alonso (2008) un metal pesado es cualquier catión con un peso atómico superior a 23. Estos metales incluyen como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, entre otros.

### 1.1.5. Agua residual

Carreño et al. (2017) las aguas residuales son las aguas recolectadas en los sistemas de alcantarillado o vertidas directamente al medio ambiente debido a la actividad humana y animal, así como las precipitaciones. Debido a que se componen principalmente de metales pesados (Pb, Hg, Cd, Zn, etc.) y metaloides o semimetales (Sb y As), los efluentes de las minas se consideran los más contaminantes y de mayor riesgo para su uso o disposición. Los desechos deben evaluarse adecuadamente para caracterizar sus componentes recalcitrantes antes de ingresar a un sistema de tratamiento biológico porque todos estos desechos son tóxicos, mutagénicos, carcinogénicos y teratogénicos para la biota acuática y el ser humano, si es el usuario final (Lazcano, 2017).

Según OEFA (2015) estas aguas, cuyas propiedades originales han sido alteradas por la intervención humana, necesitan un tratamiento previo antes de poder ser reutilizadas, vertidas a cuerpos de agua naturales o vertidas a sistemas de alcantarillado.

Para la Norma Técnica de Edificaciones OS. 090 – TAR, "Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión" es lo que se conoce como agua residual.

Se les conoce también como aguas cloacales, aguas negras o aguas residuales, son desechos ya que después de haber sido utilizado el agua, se configurarán en un deseo que no es útil para el usuario; su color es negro debido a su color típico.

Son aguas residuales que han sido alteradas en sus propiedades originales por la actividad humana y deben ser vertidas a aguas receptoras naturales o reutilizadas, y por su calidad requieren de un pretratamiento.

Las aguas residuales de las poblaciones urbanas pueden contener otro tipo de sustancias, residuos fecales, alimentos, productos farmacéuticos, pinturas, materiales de bricolaje, lubricantes automotrices, aguas de lavado, desechos hospitalarios, etc. Si incluye agua de áreas industriales, la diversidad es muy impresionante.

Se pueden establecer varios parámetros analíticos para medir el nivel de contaminación de estas aguas residuales. De hecho, las aguas residuales contienen

una amplia variedad de compuestos y los métodos de análisis de aguas residuales son extremadamente complejos.

#### **1.1.5.1. Contaminación del agua por metales pesados**

La contaminación de agua por metales pesados, se considera en forma general:

La contaminación del agua se entiende como los cambios desfavorables que sufre el agua cuando se le añaden una serie de sustancias que alteran sus condiciones naturales y suponen graves riesgos para la salud y el bienestar humanos. De particular peligro son la contaminación con altas concentraciones de algunos metales pesados y el aumento de los efectos nocivos causados por los fenómenos de persistencia y biomagnificación debidos a las actividades humanas (Branco et al., 1984).

#### **1.1.5.2. Límite máximo permisible (LMP)**

Para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero metalúrgicas, según el **D.S. N° 010 – 2010 – MINAM**, el LMP, se interpreta como una medida de la concentración o nivel de un elemento, sustancia o parámetro físico, químico o biológico que caracteriza los efluentes de las actividades minero metalúrgicas, cuyo exceso es perjudicial para la salud, el bienestar humano y el medio ambiente. Su cumplimiento es legalmente exigido por el Ministerio del Medio Ambiente y las autoridades que integran el Sistema de Gestión Ambiental.

Por un lado, según **Ley N° 28611** “General del Ambiente”, en su **artículo 31.1**. Los criterios de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) son medidas que establecen el nivel o nivel de concentración de un elemento, sustancia o parámetro físico, químico o biológico presente como receptor en el aire, el agua o el suelo. Dependiendo de los parámetros específicos involucrados, las concentraciones o niveles pueden expresarse como máximo, mínimo o rango cuando representan un riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente.

Considerando las fuentes antes mencionadas, el estudio del tratamiento de metales pesados en aguas residuales, es un proceso de purificación que

remueve contaminantes o elementos químicos presentes en cuerpos de agua que han sido alterados por la actividad humana y que son más densos que el agua. Estos pueden incluir otro tipo de sustancias, residuos fecales, alimentos, fármacos, pinturas, materiales de bricolaje, lubricantes automotrices, agua de lavado, desechos hospitalarios, actividades mineras, y por lo tanto por sus características de calidad se requiere de un pretratamiento.

## 1.2. Antecedentes

En este estudio se consideraron como antecedentes de referencia los siguientes estudios realizados.

### 1.2.1. Ámbito local

Sanga (2007) realizó estudios de remoción de metales pesados, utilizando pectina como material biodegradable. Esto se logró mediante métodos de absorción volumétrica y atómica, eliminando hasta un 47% de cobre, hasta un 100% de níquel, un 64% de zinc, un 100% de cadmio, un 92,6% de plomo y, en el caso del cadmio, también mercurio. Considerando los elementos formadores de gel, se eliminan 3,40 mg y 18,49 mg de cobre y 18,49 mg de plomo, respectivamente, con 0,3472 g de pectina.

PELT (1999) realizó investigaciones sobre la contaminación del Lago Titicaca y sus afluentes, en la subcuenca del río Ramis (Puente Samán), se encontraron concentraciones de elementos pesados como As = 12,54 mg/L, Cd = 0,24 mg/L, Cr = 5,41 mg/L, Ni = 2,61 mg/L, Pb = 0,99 mg/L y Hg = 0,51 mg/L, todos los metales encontrados superan los Límites Máximos Permisibles.

### 1.2.2. Ámbito nacional

Campo y Ríos (2021) examinó la eficiencia de *Opuntia Ficus Indica* (L.) Miller y *Echinopsis Pachanoi* en la remoción de plomo (II) en la cuenca alta del río Moche, Trujillo. Se descubrió que la especie *Opuntia ficusindica* (L.) Miller "nopal" tenía la mayor eficiencia de remoción, con un 69,28%.

Rosas (2019) realizó trabajo de investigación de caracterización y remoción de cromo (III) de aguas residuales de curtiembres del parque industrial de río seco utilizando hueso de Olivo (*Olea Europea*) procesado como biosorbente; obtuvo como

resultado una remoción máxima de 67,84% de cromo (III) en una solución sintética; para la solución real (efluente) la remoción máxima se alcanzó el 66.82% de remoción de cromo (III) y la remoción total del cromo (VI) presente, siendo el tamaño de partícula la variable con mayor significancia.

Fernández (2019) realizó un estudio sobre los niveles de contaminación con metales pesados, Hg, Pb, As y cianuro (CN<sup>-</sup>) en el naciente río Binacional Puyango-Tumbes (Perú-Ecuador). La cantidad de metales pesados se midió en mg/L, y se obtuvo como resultado Mercurio (Hg) de 0,0001 mg/L, Plomo (Pb) de 0,029 mg/L, Arsénico (As) de 0,012 mg/L, Cianuro (CN) de 0.561 m/L en el río Puyango Tumbes.

Carpio (2017) realizó estudio de biosorción de Pb (II) y Cd (II) utilizando como biomasa E. coli aislada de agua contaminada del río Huatanay en la ciudad de Cusco, en este sentido, el Pb muestra un ajuste del 75% al modelo de Freundlich usando biomasa RHC-06, donde los cationes de plomo evolucionan en contacto con la biomasa RHC-06 (E. coli) en solución acuosa a pH 6,4, lo que sugiere que además del intercambio iónico, también se consideran otros mecanismos de bioadsorción, incluida la microprecipitación para el Cd que está en un 96,9% de acuerdo con el modelo de Langmuir.

Flores (2016) realizó estudios de evaluación de la relación entre las concentraciones de metales pesados y la actividad minera en las aguas del Río Grande. Se demostró que el plomo es el único metal que supera los estándares ambientales nacionales para agua clase A3 en cinco estaciones de monitoreo durante la temporada de lluvias, es la concentración más alta de este metal (0,246 mg/L) 92% por encima del estándar nacional. El manganeso en la estación seca estuvo por encima del 18% en los puntos de monitoreo RG2 y alrededor del 6,6% en los puntos QE3.

Gonzales (2016) realizó un estudio sobre el efecto de la velocidad y temperatura de agitación en la adsorción de plomo (Pb) y zinc (Zn) con la cáscara de plátano (*Musa sapientum*) en aguas residuales de un laboratorio de análisis químico. Las concentraciones iniciales de Pb y Zn se redujeron con éxito de 1,659 y 12,80 mg/L respectivamente a 0,337 y 4,303 mg/L respectivamente. La mayor velocidad de agitación se obtuvo al operar a 80 rpm, logrando una adsorción de Pb del 79,76%. y 66,37% zinc.

Bonilla (2016) estudió el modelado de la isoterma de biosorción de plomo (II) del efluente de la mina Río Anticona-Cerro de Pasco utilizando cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y encontró que cuanto mayor sea el peso del adsorbente de plomo, se planteó la hipótesis de que la capacidad de adsorción aumentaría. Ser mayor, lo que tendría un efecto positivo. Se obtuvo una capacidad de biosorción de 0,4996 mg/L de Pb (II) de 20 mg/L, esto representa el 67,97% de la remoción de plomo (II) presente en el agua del río Anticona.

Vega (2012) realizó un estudio del nivel de contaminación con metales pesados (Pb, Cu, Hg, As, Fe) en el río el Toro del distrito de Huamachuco de Sánchez-Carrón entre los años 2009 – 2010. Por lo tanto, la estación N° 03 afirma que la concentración de metales pesados de hierro en mayo (1,122 mg/L), julio (1,153 mg/L) y septiembre (1,172) superó el límite máximo permisible (MLP) y en la estación N° 04 de mayo (1,171 mg/L), julio (1,187 mg/L) y septiembre (1,252 mg/L) de 2010.

### 1.2.3. **Ámbito internacional**

Rodríguez (2018) realizó estudio sobre la bioacumulación de metales pesados en *Schoenoplectus californicus* (*Cyperaceae*) de sitios de bentonita durante dos períodos climáticos. Este es un estudio de caso del lago San Pablo en Imbabura, Ecuador. Solo encontraron mercurio a altas temperaturas, con niveles más altos de cadmio y cobalto en las muestras de agua analizadas esta temporada, especialmente en Itambi.

Vaca (2018) realizó estudio de biorremediación de agua contaminada con cadmio utilizando tecnología de biosorción con tres especies de macroalgas. Resultados obtenidos por exposición a soluciones de cadmio de 0,5 mg/L a 1,0 mg/L. *Padina pavonica* se considera un buen material bioabsorbible debido a la mayor tasa de eliminación de Cd en agua ( $97 \pm 1,41\%$ ).

Beltrán y Gómez (2016) realizaron una investigación de biorremediación sobre los mecanismos bioquímicos y la ingeniería genética de los metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) y concluyeron que las plantas hiperacumuladoras (metalofitas) tienen la capacidad de eliminar, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar los metales pesados.

Boy (2015) determinó metales pesados en agua del lago Izabal, pescado, mejillones

e hydrilla verticillata; se detectó la presencia de níquel y estroncio en muestras analíticas de *H. verticillata* como resultado de la absorción de estos metales característica del lago. En las cuencas de Izabal y Río Dulce, el zinc estuvo presente en la muestra 1 y el arsénico estuvo presente en la muestra. Dos fueron definitivamente detectados.

Rojas et al. (2012) aplicaron el modelo de Bohart y Adams a la adsorción de mercurio de aguas residuales de mina con carbón activado; muestra que la capacidad de eliminación y la vida útil de la columna dependen de las propiedades sólidas (área superficial, tamaño de poro, grupos superficiales y capacidad de intercambio iónico), así como de la geometría de la columna, la concentración de especies adsorbidas, el caudal, la altura del lecho adsorbente y el tipo de drenaje; El modelo de Bohart y Adams describe la parte inicial (10 %) de la curva de distribución y proporciona parámetros cuantitativos (constante de tasa de adsorción, capacidad de adsorción y altura del lecho) que permiten el diseño y la optimización de sistemas basados en adsorción de manera predecible, se utilizó en un lecho fijo para eliminar los iones de  $Hg^{+2}$  de las aguas residuales.

Carro (2012) realizó una investigación sobre la modificación de la superficie de la biomasa de algas (*Sargassum*) para eliminar el mercurio y realizó experimentos de eliminación continua para comparar la capacidad de eliminación de mercurio de las algas naturales con el mercurio obtenido de siete tratamientos diferentes de la misma biomasa. La capacidad de extracción supera el 70%, excepto por el tratamiento con ácido cítrico, el etanol, el metanol y la acetona tienen los mejores efectos de tratamiento y la tasa de eliminación de mercurio es cercana al 100%, estos experimentos también confirmaron la caracterización de la biomasa por análisis SEM, y EDS mostró que la biomasa en presencia de depósitos metálicos en la superficie de la sustancia confirma claramente la reducción del mercurio en experimentos sucesivos.

Benavente et al. (2007) realizó un estudio sobre la eliminación de mercurio de las aguas residuales de la mina mediante biosorción de quitosano a través de experimentos de adsorción a valores de pH no controlados, mostrando capacidades de adsorción ( $q_e$ ) en el rango de 4 a 8 independientemente del pH (valor de pH inicial), el valor de pH inicial fue 2; tasa de eliminación disminuyó en



aproximadamente un 45%, también observó que la mayor capacidad de adsorción se produce a  $\text{pH} > 4$  cuando los cationes Hg (II) están libres en la solución y los protones (iones Hg (II)) compiten por los sitios de adsorción y tienen baja repulsión electrostática; del mismo modo, los iones de Hg(II) se pueden eliminar fácilmente del quitosano mediante el tratamiento con una solución de NaCl 1M

Bustamante (2011) realizó un estudio sobre la adsorción de metales pesados en residuos de café modificados químicamente; los resultados de la regeneración del biosorbente utilizando HCl 0,01 N a 30 °C, se logró el 62,4 % de los metales adsorbidos inicialmente en RC modificado con 0,6 M con AC y el 59,9 % de Pb (II) y Cu (II).

Cañizares (2000) realizó estudios de biosorción de metales pesados utilizando biomasa microbiana y concluyó que el sistema microbiano para la recuperación de metales pesados depende de muchos factores, incluida la capacidad biosorbente, la eficiencia y la selectividad, la facilidad de recuperación y el tratamiento físico y químico.

Izquierdo (2010) realizó investigaciones sobre la eliminación de metales pesados del agua mediante biosorción, evaluación de materiales y modelado de procesos; los resultados mostraron una retención de níquel de 8,95 mg/g en lechos de turba y de 5,10 mg/g en lechos de Posidonia Oceanica, el Niquel tiene una menor capacidad de retención en comparación con el Cu, como se esperaba de la menor electronegatividad de Ni.



## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 2.1. Identificación del problema

Estamos en el siglo XXI, la contaminación del medio que nos rodea a nivel mundial, es cada vez más catastrófico; océanos, mares, lagos, lagunas y ríos contaminados con agentes químicos, físicos, biológicos; el crecimiento y mal uso de la evolución de tecnologías generan impactos negativos, y a la vez, la producción de productos contaminantes (No ecológicos) es aprovechado irracionalmente “decadente en conciencia ambiental”.

En el Perú, existen un promedio de 390 unidades mineras y 95 compañías realizando actividades de exploración, sin embargo, a nivel local y nacional, a causa de la contaminación de los ríos con agentes químicos se ha visto afectado los recursos hídricos generándose una ola de protestas sociales, responsabilizando directamente a la minería formalizada y minería informal de infringir las normas ambientales y al mismo tiempo responsabilizando a los gobiernos de turno por encubrir a las grandes mineras y arremetimiento a la población que defiende los recursos naturales; esto nos indica, que en su gran mayoría las unidades mineras evaden normas ambientales, ocasionando y afectaciones directamente las cuencas hidrográficas.

En los centros poblados de la Rinconada y Lunar de Oro, existen casos en que las aguas residuales y los desechos mineros son vertidos directamente a los drenes naturales, en unos casos con desconocimiento y en otros con conocimiento de las sanciones establecidas por el Decreto Legislativo N° 1351, decreto que reforma el código penal por delitos de contaminación ambiental; Las áreas, que están contaminadas con responsabilidad ambiental y aguas residuales pueden dañar los ecosistemas terrestres y acuáticos y dañar la salud humana, especialmente los metales pesados.

La Ley General del Ambiente – Ley N° 28611 y el D.S. N° 010 – 2010 – MINAM, los Límites Máximos Permisibles (LMP), son claras y precisas y la mina la Rinconada, incluido el centro poblado de Lunar de Oro, es considerada como la minería informal, operan un promedio de 350 cooperativas mineras; y el agua residual son vertidos directamente en la desembocadura de la cuenca del río Ramis (Lunar de Oro). La minería, el procesamiento industrial y los desechos municipales son fuentes importantes de contaminación que liberan metales al aire, agua y el suelo. Los metales pesados tales como Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se, Zn, etc. son considerados como uno de los componentes químicos más potencialmente tóxicos, cuyos efectos tóxicos no son fácilmente detectables a corto plazo y son difíciles de controlar y eliminar del medio en que se encuentran.

Existen algunos estudios muy preliminares sobre la presencia de metales pesados en el efluente de la mina la Rinconada; por lo tanto, en este estudio, hemos formulado nuestras preguntas de investigación de la siguiente manera:

## 2.2. Enunciados del problema

### 2.2.1. Problema general

- ¿Cuán eficiente es la biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) en la biosorción de metales pesados totales de agua residual de la mina la Rinconada?

### 2.2.2. Problema específico

- ¿Con qué nivel de concentración inicial de metales pesados totales se encuentra el agua residual antes de la biosorción con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*)?
- ¿Cuál es el nivel de concentración de metales pesados totales de agua residual después de la biosorción con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) respecto a la concentración inicial?

## 2.3. Justificación

Las protestas sociales en la región Puno, son muy frecuentes por la contaminación de toda la cuenca del río Ramis, ocasionados por la actividad minera con metales pesados y otros

elementos químicos, además, los ríos que desembocan al Lago Titicaca son contaminados por la minería de Ocuvi y Mina San Rafael; la principal fuente de contaminación del agua con metales pesados, debido al mal uso y desconocimiento de las técnicas de tratamiento, esta práctica perjudica a todos los seres vivos y alteración del medio ecológico. Asimismo, para Volesky (1990) sin controles ambientales adecuados, las industrias del plástico, la minería, la pintura, la fotografía, la batería y la metalúrgica liberan metales pesados en forma de iones en los ríos y océanos; del mismo modo, Ke y Wang (2002) la toxicidad de los metales pesados se produce incluso a bajas concentraciones de 1 a 10 mg/L; algunos metales tóxicos como el mercurio y cadmio, son muy tóxicos, incluso en concentraciones de 0,01 a 0,1 mg/mL.

La Organización Mundial de la Salud (1999) también estableció un límite máximo permisible para Pb (II) de 0,01 mg/L en agua.

La mayor preocupación por la calidad del agua, son los metales pesados de diversas fuentes antropogénicas como la industrialización, la minería, el crecimiento de la población y el uso de diversos materiales y/o productos químicos que dañan la salud humana y el medio ambiente (ANA, 2013); sin embargo, en la Legislación Ambiental Peruana, comprende todas las normas legales vigentes, promulgadas, afectan directa o indirectamente al medio ambiente, especialmente al normal desarrollo de la vida.

Ley N° 28611, Ley General del Ambiente establece principios y normas básicos para asegurar “la efectiva vigencia del derecho constitucional a un ambiente sano, equilibrado y suficiente para el pleno desarrollo de la vida”, del mismo modo, en la Ley Penal Ambiental – Ley N° 29263 está tipificado los delitos cometidos contra el medio ambiente.

En el Diario oficial el Peruano, publicado el D.S. N° 010 – 2010 – MINAM, cargas Máximas Permitidas para la descarga de efluentes líquidos de Operaciones Mineras y Metalúrgicas, están establecidos los Límites Máximos de metales pesados totales en cualquier momento: Zinc 1,5 mg/L, Mercurio 0,002 mg/L, Plomo 1 0,2 mg/L, Fe 2 ml/L, Cobre 0,5 mg/L, cadmio 0,05 mg/L, arsénico 0,1 mg/L y entre otros.

Asimismo, según el D.S. N° 004 – 2017 – MINAM, están establecidos el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua en sus diferentes categorías y también la actividad minera no cumple con la Ley N° 2996 “Ley de Servicio Nacional de Certificación Ambiental” (SENACE).

Tabla 4

*Límites Máximos Permisibles (LMP) para descarga de efluentes*

Parámetro	Unidad (mg/L)
Zinc (Zn)	1,5
Mercurio (Hg)	0,002
Plomo (Pb)	0,2
Fierro (Fe)	2,0
Cromo (Cr)	0,1
Cobre (Cu)	0,5
Cadmio (Cd)	0,05
Arsénico (As)	0,1

Fuente: D.S. N° 010-2010-MINAM

En efecto, durante el desarrollo de la actividad minera en el centro poblado de la Rinconada y los responsables, al momento de vertimiento de aguas residuales, infringen la normativa Ambiental, del mismo modo, los diferentes estudios realizados en su gran mayoría, los resultados de laboratorio no han sido certificados de acuerdo a la certificación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y en su mayoría de los casos han sido con muestras simuladas; además no existen estudios que hayan identificado metales pesados totales existentes en el vertimiento de aguas residuales de la mina la Rinconada y a partir de los datos fehacientes se podrán plantear tecnologías de diseño de una planta de tratamiento de agua residual; motivo por el cual, en términos ambientales, la remediación de aguas contaminadas con metales pesados, implica la implementación de un tratamiento técnicamente factible para todas las aguas residuales en pequeña y mediana a partir de un proceso de biorremediación con materiales orgánicos de biomasa y en el aspecto social, después de la difusión de estos trabajos de investigación, la población que vive en los alrededores de la cuenca del río Ramis, estarán plenamente informado con datos verídicos y evitarán conflictos sociales y beber aguas limpias.

Si la minería, es considerado como un impulsor del crecimiento y desarrollo en el Perú y es esencial y adecuada para el progreso sostenible, sin embargo, el medio ambiente y la población en general han sido afectados, esto ha llevado un aumento rápido de protestas en los sectores más afectados a causa de una irresponsabilidad de parte de las empresas mineras. Para tal razón, se pretenda dar como alternativa de solución la “Biosorción de metales pesados totales de agua residual de la mina la Rinconada con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*).

## 2.4. Objetivos

### 2.4.1. Objetivo general

- Determinar la eficiencia de la biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) en la biosorción de metales pesados totales en agua residual de la mina la Rinconada.

### 2.4.2. Objetivos específicos

- Evaluar el nivel de concentración inicial de metales pesados totales de agua residual antes de la biosorción con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*).
- Evaluar el nivel de concentración final de metales pesados totales de agua residual después de la biosorción con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*).

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis general

- La eficiencia de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) durante la biosorción de metales pesados totales tiene un rendimiento “**Alto**” en agua residual de la mina la Rinconada.

### 2.5.2. Hipótesis específica

- El nivel de concentración inicial de metales pesados totales en agua residual de la mina es “**Alto**” antes de la biosorción con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*).
- El nivel de concentración de metales pesados totales es “**Bajo**” después de la biosorción con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) respecto a la concentración inicial.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de estudio

En el presente trabajo, el lugar de investigación está ubicado en la laguna del centro poblado de Lunar de Oro de la mina la Rinconada de la región de Puno, y los procedimientos operativos se realizaron en las instalaciones del laboratorio de aguas de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA – PUNO, ubicado a 4873 msnm, debido a que la institución cuenta con suficiente ambiente y materiales; las muestras fueron enviadas a Laboratorios Analíticos del Sur, Laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL) de la ciudad de Arequipa.

#### 3.2. Población

Para este estudio, la población de estudio se compone de:

- ❖ Aguas efluentes del centro minero informal de la Rinconada.
- ❖ Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*).

#### 3.3. Muestra

##### 3.3.1. Descripción de muestreo

El principio fundamental de un muestreo de aguas, es tomar una porción de agua de volumen adecuado para que pueda transportarse y manipular fácilmente en el laboratorio; este principio establece que la muestra debe manipularse de manera que su composición no cambie significativamente antes del análisis.

La muestra de estudio se consideró 4 litros de agua residual efluente y es de tipo probabilístico, aplicando la técnica de muestreo simple o puntual. Para el análisis en

laboratorio se requiere una mínima porción de muestra en mililitros, por tal razón, se ha considerado 4 litros de muestra de agua residual.

La muestra representativa para la biosorción, se ha considerado 0,3 gramos de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*).

La muestra de agua residual, se consideró aguas de la laguna de Lunar de Oro del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina del departamento de Puno y se tomó el muestreo mediante el tipo de muestreo simple, según R.J. N° 010 – 2016 – ANA consiste en tomar una cantidad de agua en un lugar o momento específico para su análisis individual.

### **3.4. Método de investigación**

#### **3.4.1. Descripción de procedimientos para la concentración inicial de metales pesados totales**

Para evaluar el nivel de concentración inicial de metales pesados totales en aguas residuales antes del uso de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*), se aplicó la técnica de laboratorio.

##### **A. Procedimiento de la toma de muestra de agua residual**

El muestreo se realizó de la siguiente manera: se tomó un recipiente (Frasco), se quitó la tapa, se enjuagó la misma muestra al menos dos veces y luego se sumergió en agua hasta tomar una porción considerable.

##### **B. Parámetro físico químicas**

En una muestra de agua residual de la laguna de Lunar de Oro, se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos de campo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 5

*Parámetros físico químicas de agua residual*

Determinación de Parámetros de campo de agua residual
pH
C.E. (uS/cm)
Temperatura (°C)

Fuente: D.S. N° 015 – 2015 – MINAN. “Parámetros mínimos de campo”

La Tabla 5, muestra los parámetros de campo físico-químicos que se determinaron en el sitio de una muestra de agua residual de acuerdo con las regulaciones de aguas residuales del Departamento de Medio Ambiente.

**C. Preservación.** Una vez tomada la muestra de agua residual, se ha procedido inmediatamente adicionar el preservante de HNO<sub>3</sub>, luego se homogenizó y se procedió cerrar herméticamente el recipiente, con la finalidad de preservar la muestra.

**D. Filtrado:** El filtrado se realizó utilizando el papel filtro Whatman N° 42.

**E. Rotulado:** Los envases se marcan con etiquetas autoadhesivas, teniendo en cuenta al menos los siguientes datos:

- ❖ Nombre del solicitante.
- ❖ Código del Punto de Muestreo.
- ❖ Tipo de cuerpo de Agua.
- ❖ Fecha y hora de muestreo.
- ❖ Nombre del responsable de la toma de muestra.
- ❖ Tipo de análisis requerido.
- ❖ Preservación y tipo de muestreo.



**F. Análisis de Laboratorio:** La muestra de agua residual fue analizada en laboratorios Analíticos del Sur (LAS) a través del método **de ensayo aplicado por espectroscopia de plasma o ICP – OES.**

### **3.4.2. Descripción de procedimientos para la concentración final de metales pesados totales**

Para determinar el nivel de concentración de metales totales antes y después del tratamiento de aguas residuales con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*), se utilizó un método de laboratorio de acuerdo a los procedimientos de la Norma Internacional NMX-AA-007-SCFI-2000.

#### **3.4.2.1. Obtención de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*)**

##### **A. Selección, pelado, reducción del tamaño y pesado**

Se seleccionaron y se pelaron las muestras más representativas de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*), luego se trocearon y posteriormente se pesaron en una balanza analítica (Anexo A1).

##### **B. Secado y molienda**

Según el Departamento de Alimentos y Biotecnología (2008), el secado se realizó en un horno (Estufa) a 70 °C durante 24 horas para eliminar la humedad de la muestra (Anexo A2). Después del secado, la muestra queda con una textura fina y se sometió a un tratamiento de trituración con mortero (Anexo A3) para reducir el tamaño de la muestra.

##### **C. Activación**

Trabajo realizado por Zhou et al. (2009) se utilizó como punto de referencia para el proceso de activación de la biomasa. La cantidad de biomasa pesado fue de 0,3 gramos, y se sometió a una hidrólisis ácida utilizando una solución de HNO<sub>3</sub> a 0,3 N, con agitación constante a 150 RPM, a temperatura ambiente (Anexo B3) durante 30 minutos antes de dejar reposar; posteriormente se realizó una hidrólisis alcalina utilizando una solución de NaOH a 0,09 M (Anexo B4).

#### D. Determinación del pH

Para medir el pH de la biomasa, se pesó 02 gramos de muestra, se colocó en un vaso precipitado, se agregaron 3 veces más agua destilada para facilitar la dilución se sometió a una temperatura de 20°C y enfriar, luego de calibrar el dispositivo se mide el pH a temperatura ambiente usando un potenciómetro (Anexo B2 de acuerdo a la norma mexicana NMX – AA – 008 – SCFI – 2016, la cual funciona como una solución estándar para medir el pH de residuos naturales, residuales y tratados de agua.

#### E. Porcentaje de humedad

Después de secar las muestras de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*), se determinó el porcentaje de contenido de humedad utilizando la Ecuación 1.

$$\% \text{Humedad} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 10 \quad (1)$$

#### F. Densidad aparente

La densidad aparente se determinó de acuerdo con la fórmula 2 usando el método gravimétrico, pesando el tubo vacío en una balanza analítica y luego volviendo a pesar el tubo con biomasa (Apéndice B1).

$$\text{Densidad} = \frac{W}{V} \quad (2)$$

Donde:

**W** : Peso del Biosorbente (g)

**V** : Volumen ocupado (mL)

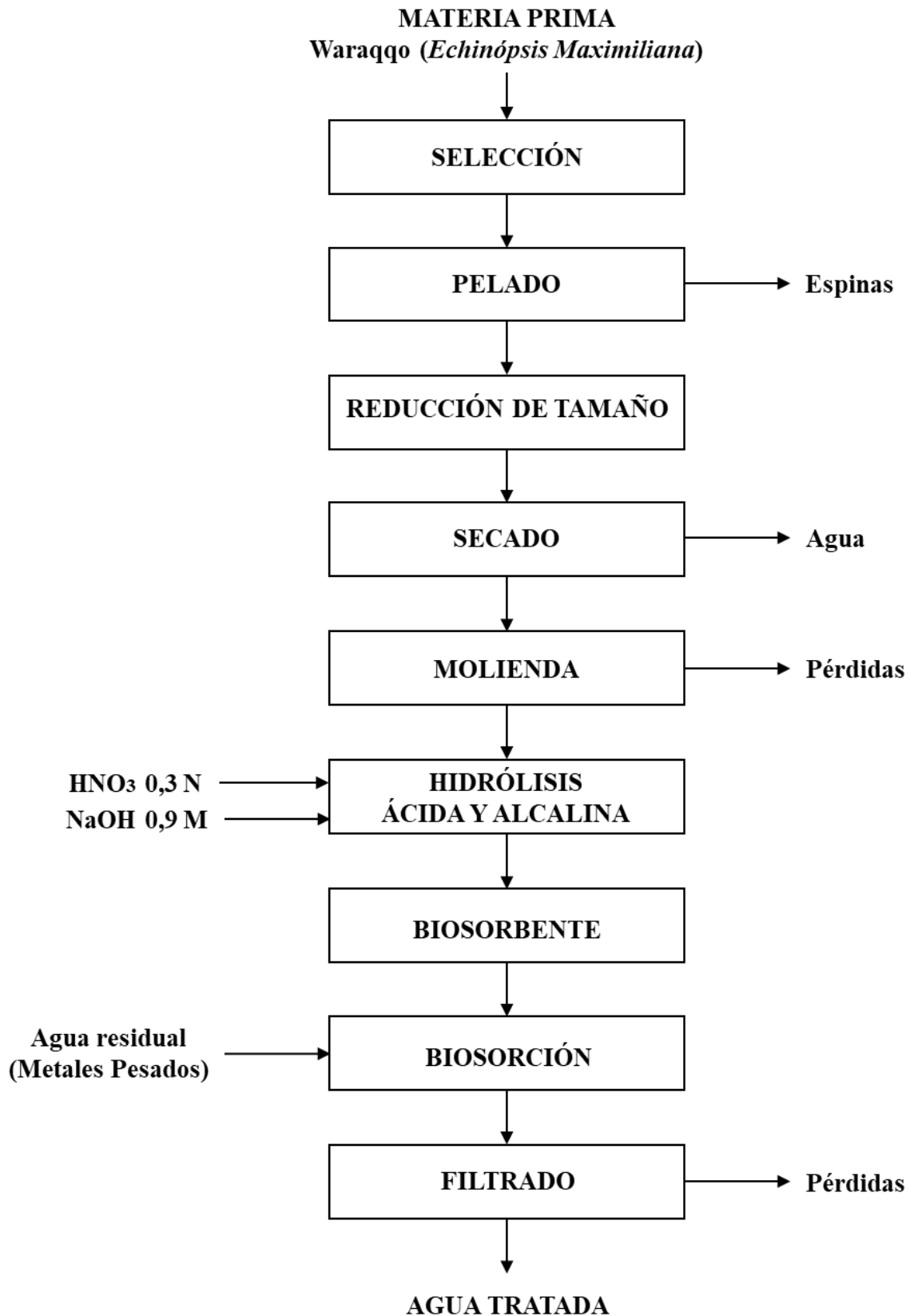


Figura 3. Diagrama de flujo de obtención de biosorbente y remoción de metales pesados

### 3.4.3. Tipo y Diseño de estudio

El presente estudio, es un diseño experimental con un solo grupo post-test y control, es decir, de acuerdo a la naturaleza de la investigación existen dos grupos, uno de los cuales recibe el tratamiento experimental (variable independiente) y el otro no (variable dependiente); terminada la manipulación de la variable independiente o tratamiento experimental, se administra una medición a ambos grupos para cuantificar los cambios producidos en la variable en estudio.

El diseño Postprueba únicamente, se representa a través del siguiente esquema:

Gc ----- ( ) -----O<sub>1</sub>

Ge ----- ( X ) -----O<sub>1</sub>

Donde:

**O:** Prueba

**(X):** Experimento

**Gc:** Grupo de control

**Ge:** Grupo experimental

Tabla 6

*Factores y niveles de pH y tiempo*

Factores	Nivel 1	Nivel 2
pH	10	12,10
t (min)	30	60
V <sub>Agua residual</sub> (mL)	150	
W <sub>Bioadsorbente</sub> (g)	03	

Según tabla 6, se probaron experimentalmente 02 pruebas con pH de 10 y 12,10; los tiempos de biosorción fueron de 30 minutos y 60 minutos, respectivamente.

### 3.4.4. Variables

Para el presente estudio, se manejó dos variables:

- ❖ **Variable independiente:** pH y Tiempo: biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*).
- ❖ **Variable dependiente:** Capacidad de biosorción de metales pesados totales.

### 3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

#### 3.5.1. Descripción de variables analizadas

Tabla 7

*Variables analizadas por objetivos*

Objetivos específicos	Recolección de datos
Evaluar el nivel de concentración inicial de metales pesados totales de agua residual <b>ANTES</b> de la biosorción con biomasa de Waraqqo ( <i>Echinopsis maximiliana</i> ).	❖ Se procedió a determinar los parámetros físico químicas.
	❖ Para el respectivo análisis, se envió a Laboratorios Analíticos del Sur.
	❖ Obtención de biomasa (Selección, pelado, reducción del tamaño, secado, molienda).
Evaluar el nivel de concentración final de metales pesados totales de agua residual <b>DESPUÉS</b> de la biosorción con biomasa de Waraqqo ( <i>Echinopsis maximiliana</i> ).	❖ Activación de la biomasa.
	❖ Determinación de pH, humedad y densidad aparente.
	❖ Se realizó las pruebas de biosorción, controlando los parámetros (Tiempo y pH) de acuerdo al diseño experimental.
	❖ Se procedió con el respectivo filtrado de agua tratada y se envió a Laboratorios Analíticos del Sur.
	❖ Los Resultados emitidos se calculó de acuerdo a la ecuación de capacidad de % de remoción.

### 3.5.1.1. Diseño experimental

El desarrollo experimental, se basó en un diseño experimental para determinar la importancia de cada variable independiente. La Tabla 6 muestra los factores y niveles considerados.

La cantidad de metales pesados adsorbidos ( $Q$ ) en mg/g de biosorbente se calculó aplicando la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{(C_i - C_f)}{m} * V \quad (3)$$

Dónde:

$Y= Q$  : Capacidad de bioadsorción (mg/g)

$C_i$  : Concentración inicial (mg/L)

$C_f$  : Concentración final (mg/L)

$M$  : Masa del biosorbente (g)

$V$  : Volumen de la solución (L)

El porcentaje de pruebas de remoción se determinó aplicando la ecuación 4:

$$\%A = \left[ 1 - \frac{(C_i)}{(C_f)} \right] * 100 \quad (4)$$

Dónde:

$\%A$  : Porcentaje de remoción de metales pesados.

$C_i$  : Concentración inicial (mg/L)

$C_f$  : Concentración final (mg/L)

### 3.5.1.2. Proceso de pruebas de remoción

- Los experimentos de remoción se realizaron de acuerdo a la Tabla 6, exponiendo la biomasa activada al agua residual a diferentes valores de pH y tiempo:
- Se preparó dos vasos precipitados de 200 mL y a cada uno de ellos se añadió con 150 mL de muestra de agua residual de mina, la cual fue previamente filtrada (ver Anexo D).
- A cada vaso precipitado se agregó 0,3 g del biosorbente de biomasa de

Waraqo (*Echinopsis maximiliana*).

- Se procedió a realizar el ajuste del pH a valores de 10 y 12,10 utilizando una solución de NaOH con una concentración de 2,0 M.
- La solución se agitó continuamente a una velocidad de 150 rpm a temperatura ambiente, siguiendo los tiempos predeterminados indicados en la Tabla 6.
- Posteriormente la muestra se filtró (Anexo D3), se etiquetó y se envió para el respectivo análisis a Laboratorios Analíticos Sur (Anexo E).

### 3.5.2. Descripción de materiales

#### 3.5.2.1. Sustancias:

- ❖ Agua destilada.
- ❖ Agua residual.

#### 3.5.2.2. Reactivos:

- ❖ Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) en una proporción de 1:1).
- ❖ Hidróxido de sodio (NaOH) al 99,99%.

#### 3.5.2.3. Materiales de Vidrio y otros:

- ❖ Vaso precipitado de 200 mL y 50 mL
- ❖ Probeta
- ❖ Pipeta
- ❖ Mortero
- ❖ Papel filtro Whatman N° 42

#### 3.5.2.4. Instrumentos:

- ❖ Potenciómetro: Marca: THERMO CIENTIFIC; Modelo: ORION STAR A211
- ❖ Balanza analítica: Marca: METLLER TOLEDO; Modelo: AB 204

#### 3.5.2.5. Equipos:

- ❖ Estufa: VWR, Modelo: 1.300U-2
- ❖ Agitador: Thermo, Modelo: STAR A211
- ❖ Espectrofotómetro Infrarrojo (FTIR)

### 3.5.3. Aplicación de prueba estadística inferencial

Para llevar a cabo la prueba estadística inferencial se aplicó el procedimiento de **prueba de hipótesis para dos parámetros**, específicamente, la **prueba “t” de Student** para muestras relacionadas. Esto se conoce como la Prueba “t” de prueba.

**Hipótesis nula:  $H_0: \mu d \leq 0$ :** El Warraqo (*Echinopsis maximiliana*) no es eficiente para la biosorción de metales pesados totales de agua residual de la mina la Rinconada.

**Hipótesis Alterna:  $H_1: \mu d > 0$ :** El Warraqo (*Echinopsis maximiliana*) es eficiente y tiene un rendimiento alto en la biosorción de metales pesados totales de agua residual de la mina la Rinconada.

**Donde:**

gl = (n-1) = Grados de Libertad

t(1- $\alpha$ ) (n-1) = Valor crítico

p – Valor = Probabilidad asociado.

A= 5% de margen de error

$\bar{d}$  = Promedio diferencial

n = Cantidad a observar de metales

$$S_d = \sqrt{\frac{(d_i - \bar{d})^2}{n - 1}} = \text{Desviación Estandar muestral} \quad (5)$$

$$t = \frac{\bar{d}}{S_d/\sqrt{n}} = \text{Estadístico de Prueba} \quad (6)$$



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados de la concentración inicial de metales pesados totales.

##### 4.1.1. Análisis de parámetros de campo de agua residual

El procedimiento de recolección y manejo de las muestras de agua residual, es uno de los procesos más importantes y trascendentes para poder determinar los parámetros de campo. Para el presente estudio, la muestra de agua residual se colectó de la laguna de Lunar de Oro y presenta los siguientes resultados, según tabla 8:

Tabla 8

*Resultados de análisis de parámetros mínimos de campo*

Parámetros de campo de agua residual		Coordenadas de toma de muestra	
		E	N
pH	10,8		
C.E. (uS/cm)	1,6	-14,623781	-69,449063
Temperatura (°C)	14,3		

En la tabla 8, se observa los resultados de parámetro mínimos de campo, tomando en cuenta las consideraciones del D.S. N° 015 – 2015 – MINAN; el agua residual de la mina presenta un pH de 10.8, conductividad eléctrica de 1,6 uS/cm y una temperatura de 14,3 °C.

##### 4.1.2. Resultados del análisis de agua residual

Se obtuvo los resultados de análisis de determinación de metales totales y elementos de trazas en agua residual por el método de alto rendimiento de Espectrometría de

Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP – OES), en Laboratorios Analíticos del Sur, de la ciudad de Arequipa, acreditado por Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

Tabla 9

*Resultados de determinación de metales pesados totales*

Nº	Agua residual de la mina la Rinconada		LMP (mg/L)	ECA (mg/L)
	Metales totales	Resultados de análisis (mg/L)	D.S. No 010 – 2010 – MINAM	D.S. 004 - 2017 - MINAM
1	Aluminio (Al)	19,1	---	0,9
2	Boro (B)	14,63	---	1,0
3	Hierro (Fe)	11,6	2,0	0,3
4	Manganeso (Mn)	6,7095	---	0,2
5	Zinc (Zn)	2,04	1,5	0,12
6	Estroncio (Sr)	1,479	---	---
7	Níquel (Ni)	0,5525	---	0,02
8	Litio (Li)	0,3423	---	2,5
9	Cobalto (Co)	0,2133	---	0,05
10	Arsénico (As)	0,179	0,1	0,01
11	Bario (Ba)	0,1569	---	0,7
12	Fósforo (P)	0,1151	---	---
13	Plomo (Pb)	0,0822	0,2	0,01
14	Cobre (Cu)	0,0216	0,5	0,1
15	Cromo (Cr)	0,0157	0,1	0,05
16	Mercurio (Hg)	0,0087	0,002	0,001
17	Titanio (Ti)	0,0083	---	---
18	Vanadio (V)	0,0075	---	0,1
19	Berilio (Be)	0,0059	---	0,012
20	Antimonio (Sb)	0,0057	---	0,02
21	Plata (Ag)	0,0056	---	0,01

**Fuente:** Informe de ensayo LAS 01 – AG – AC – 22 – 00457.

En la tabla 9 , se observa los resultados de análisis de determinación de metales totales en agua residual de la laguna de Lunar de Oro, ubicado en la mina la Rinconada, el agua residual, presentan 21 metales, con concentraciones iniciales

siguientes: 19,1 mg/L de Al, 14,63 mg/L de B, 11,6 mg/L de Fe, 6,7095 mg/L de Mn, 2,04 mg/L de Zn, 1,479 mg/L de Sr, 0,5525 mg/L de Ni, 0,3423 mg/L de Li, 0,2133 mg/L de Co, 0,179 mg/L de As, 0,1569 mg/L de Ba, 0,1151 mg/L de P, 0,0822 mg/L de Pb, 0,0216 mg/L de Cu, 0,0157 mg/L de Cr, 0,0087 mg/L de Hg, 0,0075 mg/L de V, 0,0059 mg/L de Be, 0,0057 mg/L de Sb, 0,0056 de Ag, 0,0083 mg/L de Ti.

**Según tabla 9, el primer objetivo se discute en los siguientes términos:**

A partir de los resultados obtenidos, la concentración de metales totales encontrados en agua residual de la laguna de Lunar de Oro de la mina la Rinconada es mayor a los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el D.S. N° 010 – 2010 – MINAN y el D.S. N° 004 – 2017 – MINAN. A la vez, estos resultados guardan relación con lo que sostiene Basterrechea et al. (2003) y Calderón (1997), quienes consideran a los metales pesados como los más peligrosos y a la vez no son biodegradables tales como Cd, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn. Los metales pesados encontrados en agua residual de la mina la Rinconada, se considera como metales altamente tóxicos, así como señala Alloway (2013) metales o metaloides con potencial de causar problemas de toxicidad; evaluando éstos aspectos Wood (1974) clasificó los metales pesados en tres categorías: No críticos, tóxicos pero muy insolubles y muy tóxicos relativamente disponibles; en efecto, dentro de las categorías consideradas; según la tabla 9 se han encontrado dichos metales pesados en el análisis de la muestra de agua residual de la laguna de Lunar de Oro.

Los metales encontrados en agua residual de la Laguna de Lunar de Oro de la mina la Rinconada, es producto del vertimiento directo de agua residual al cuerpo natural de agua y a las escorrentías, sin antes haber sido tratadas, estos resultados también guarda relación con lo que sostiene el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA (2015) son considerada como aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas aun cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

En los estudios realizados por Fernández (2019) en el naciente río Binacional Puyango –Tumbes (Perú – Ecuador; determinó la cantidad de mg/L de los metales pesados, siendo < 0,0001 mg/L de Mercurio (Hg), 0,029 mg/L de Plomo (Pb) y 0,012mg/L de Arsénico (As) y la cantidad de Cianuro (CN<sup>-</sup>), siendo de 0,561 mg/L

en el Río Puyango Tumbes; en cambio, en agua residual de la laguna de Lunar de Oro, se encontró 0,0087 mg/L de Hg, 0,082 mg/L de Pb y 0,179 mg/L de As; estas diferencias se deben, que en un río natural con el caso del río Binacional Puyango – Tumbes, no existe presencia de actividades antropogénica; sin embargo, en la mina la rinconada existe la acción humana, principalmente la actividad minera, donde las aguas residuales y lixiviados llegan por arrastre, hasta los manantiales o aguas de los ríos.

Asimismo, Flores (2016) encontró metales pesados en aguas del río Grande de Cajamarca, tales como Aluminio con 1,048 mg/L, seguido por el Hierro con 0,780 mg/L, Manganeso con 0,253 mg/L y zinc con 0,086 mg/L; además Vega (2012) en su trabajo de investigación encontró metales pesados en el río Toro de Huamachuco tales como Pb, Cu, Hg, As y Fe; estos resultados difieren, con los resultados que se obtuvo en el presente trabajo de estudio (Tabla 9), según el reporte del informe de análisis de Laboratorios Analíticos del Sur, estos resultados encontrados en aguas de la laguna de lunar de oro, se deben a la actividad informal de la minería y no existe control alguna al respecto de segregación de Residuos Sólidos.

En el año 2010, en el diario el Peruano “Normas legales” se ha publica el Decreto Supremo N° 010 – 2010 MINAM, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas, dicho decreto obliga que no debe ser excedidos en ningún momento por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) los siguientes metales: Hierro (Fe) 2,0 mg/L, Zinc (Zn) 1,5 mg/L, Plomo (Pb) 0,2 mg/L, Arsénico (As) 0,1 mg/L, Cobre (Cu) 0,5 mg/L, Cromo (Cr) 0,1 mg/L y Mercurio (Hg) 0,002 mg/L; comparando los resultados según tabla 9, el agua residual de la mina la rinconada presenta alto contenido de metales pesados, los cuales, se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el Ministerio de Medio Ambiente, esto implica, el incumplimiento e infracción a la normativa vigente.

Del mismo modo, en la tabla 9, se observa una comparación de los resultados de análisis de agua residual con el Estándar de Calidad Ambiental para Aguas (ECA), publicado en el Decreto Supremo No 004 - 2017 – MINAM, la concentración de metales pesados de agua residual de la laguna de Lunar de Oro, se encuentra por encima de Estándar de Calidad Ambiental para Aguas; por lo tanto, las actividades

mineras de las cooperativas mineras del centro poblado de la mina la Rinconada, infringen el cumplimiento de las normativas establecidas por el estado Peruano en materia Ambiental.

Tabla 10

*Resultado de análisis de metales y no metales totales de agua residual*

<b>Metales totales</b>	<b>Resultados de análisis (mg/L)</b>	<b>No metales totales</b>	<b>Resultados de análisis (mg/L)</b>
Hierro (Fe)	11,6	Aluminio (Al)	19,1
Manganeso (Mn)	6,7095	Boro (B)	14,63
Zinc (Zn)	2,04	Arsénico (As)	0,179
Estroncio (Sr)	1,479	Fósforo (P)	0,1151
Níquel (Ni)	0,5525	Plomo (Pb)	0,0822
Litio (Li)	0,3423	Antimonio (Sb)	0,0057
Cobalto (Co)	0,2133		
Bario (Ba)	0,1569		
Cobre (Cu)	0,0216		
Cromo (Cr)	0,0157		
Mercurio (Hg)	0,0087		
Titanio (Ti)	0,0083		
Vanadio (V)	0,0075		
Berilio (Be)	0,0059		
Plata (Ag)	0,0056		

En la tabla 10, se observan los resultados de análisis de metales y no metales totales de agua residual de la laguna de Lunar de Oro, de los cuales, según la tabla periódica de los elementos químicos de IUPAC, 15 elementos corresponden a metales y 06 elemento a no metales encontrados en agua residual de la laguna de Lunar de Oro del centro poblado de la mina la Rinconada.

## 4.2. Resultados de la concentración final de metales pesados totales

### 4.2.1. Obtención del biosorbente

#### 4.2.1.1. Determinación del porcentaje de humedad y densidad

El contenido de humedad y la densidad de la muestra se determinaron utilizando la Ecuación 1 y 2 (pág. 39):

Tabla 11

*Resultados de porcentaje de humedad y densidad de Waraqqo (Echinopsis maximiliana)*

Pesos (g)	Componente	%	Densidad (mg/L)
600	Humedad	94,272	0,456
34,369	Sólidos Totales	5,728	

De la tabla 11, se observa el contenido de humedad de la muestra de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) representa el 94,272% de humedad; esto se debe, que la biomasa es una masa gelatinosa que contiene el 5,728% del contenido total de sólidos; el alto contenido de humedad se debe a la gran cantidad de agua concentrada en la muestra.

#### 4.2.1.2. pH del biosorbente

Los resultados de pH del biosorbente se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 12

*Resultados del pH de biosorbente*

Parámetro	Sin activación	Activación ácida	Activación alcalina
pH	5,20	2,70	13,10

En la tabla 12, se muestran los resultados del proceso de medición de pH del biosorbente, la muestra en su estado natural es ácida con un pH de 5,20, debido

a que contienen algunas funciones de ácido carboxílico y sulfuros, como se muestra en la tabla 11; El pH disminuyó a 2,70 durante el proceso de activación, no obstante, el pH aumentó a 13,10 durante la activación alcalina.

#### **4.2.1.3 Descripción del biosorbente**

El biosorbente derivado de la biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) se observa de un color verde oscuro y con una consistencia gelatinosa en su estado natural; tras la activación a través, de la hidrólisis ácida, adquiere un color amarillo grisácea, como se muestra en el Anexo B3; posterior a la hidrólisis alcalina, recupera su color verde oscuro original y su consistencia gelatinosa, como se muestra en el Anexo B4; se supone que el biosorbente contiene una composición química significativa de pectina ( $C_6H_{10}O_7$ ), como se observa en el Anexo B5.

#### **4.2.1.4. Resultados de análisis químico**

La caracterización química del biopolímero natural de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) se realizó mediante análisis espectrofotométrico infrarrojo en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la UNI, como se muestra en el Anexo F1, los resultados del análisis se grafican utilizando luz infrarroja como porcentaje de transmitancia Vs. frecuencia vibratoria ( $cm^{-1}$ ), las diferentes señales vibratorias de los grupos funcionales y las bandas vibratorias características para los diferentes grupos químicos se identificaron según Banwell y Popovych (1994) quienes determinaron la frecuencia vibratoria para varios grupos funcionales por este método, los compuestos o grupos funcionales aproximados para cada banda vibratoria identificado se observa en el anexo F2 y en la siguiente tabla:

Tabla 13

*Picos de vibración y grupos funcional asociado*

Número de onda ( $\text{cm}^{-1}$ )	Grupo funcional	Tipo de Vibración
3286	-OH, -NH	Estiramiento (tensión)
2920	R <sub>2</sub> -C-H	Estiramiento simétrico
2850	R-CH <sub>2</sub>	Estiramiento asimétrico
2314, 2121	-C≡C-, -N=C=S	Estiramiento (tensión)
1728	-C=O (Cetonas, ácidos carboxílicos)	Tensión
1600	-C=C- (Aromáticos)	Estiramiento
1411	R <sub>2</sub> -C-H	Flexión
1369	-CH <sub>2</sub>	Flexión
1242	-C-O- (Ester, ácido carboxílico)	Tensión
1029	-C-OH	Tensión
1006	=C-H, C-O-C	Flexión
891	-S-O-	Flexión
663	-N-H	Flexión fuera del plano

**Fuente:** Certificado de análisis químico. Facultad de Ciencias – UNI

Con los datos presentados en la tabla 13, se puede inferir que el biosorbente derivado de la biomasa natural obtenida de Waraqo (*Echinopsis maximiliana*) presenta grupos funcionales correspondientes a las siguientes frecuencias vibratorias : -OH y -NH (3286), R<sub>2</sub>-CH (2920), R-CH<sub>2</sub> (2850), -C≡C-, -N=C=S (2314, 2121), -C=O (1728), -C=C- (1600), R<sub>2</sub>-CH (1411), -CH<sub>2</sub> (1369), -CO- (1242), -C-OH (1029), =CH, COC(1006), -SO- (891) y -NH (663).

La presencia de grupos funcionales como grupos amino y grupos con dobles enlaces en la estructura química del adsorbente determina la selectividad de adsorción, basado en este postulado Liu y Wang (2009) afirman que los grupos funcionales más comunes en los adsorbentes naturales son los grupos hidroxilo, grupos carboxilo, grupos sulfhidrilo, etc., y al respecto es válido el certificado de análisis químico realizado en la Facultad de Ciencias de la UNI. En consecuencia, se determina que los materiales empleados en el presente estudio tienen un potencial considerable de grupos funcionales y pectina para la



biosorción de metales pesados totales presentes en el agua residual proveniente de la actividad minera.

#### 4.2.2. Parámetros óptimos de operación

##### 4.2.2.1. Pruebas de biosorción y porcentaje de metales pesados totales

Los resultados de biosorción y porcentaje de remoción de metales pesados totales, se desarrolló de acuerdo al reporte del **informe de ensayo de Laboratorios Analíticos del Sur LAS 01 – AG – AC – 22 – 00459** (Anexo G), aplicando las ecuaciones 3 y 4 (Pág 43), asimismo, para el presente estudio se consideró como parámetros óptimos de operación los siguientes valores:

<b>Muestra del volumen agua de la mina</b>	: 150 mL
<b>Agitación de biosorción</b>	: 150 rpm
<b>Temperatura de agitación (Ambiente)</b>	: 14,4 °C
<b>Cantidad de biosorbente</b>	: 0,3 gramos

Los resultados del análisis se comparan con la normativa ambiental de Estándar de Calidad de Agua (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), que a continuación se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 14

*Resultados de biosorción según los parámetros de diseño*

Metales totales	Ci (mg/L)	LMP	ECA	pH: 10 y t: 30 min	pH:12,10 y t: 60 min
		D.S. No 010 – 2010 – MINAM	D.S. 004 - 2017 - MINAM	Cf (mg/L)	Cf (mg/L)
Aluminio (Al)	19,1	---	0,9	2,97	2,68
Hierro (Fe)	11,6	2,0	0,3	0,378	0,057
Manganeso (Mn)	6,7095	---	0,2	0,4632	0,1683
Zinc (Zn)	2,04	1,5	0,12	0,039	0,0031
Estroncio (Sr)	1,479	---	---	1,411	1,410
Níquel (Ni)	0,5525	---	0,02	0,2033	0,0305
Cobalto (Co)	0,2133	---	0,05	0,0303	0,0133
Arsénico (As)	0,179	0,1	0,01	0,0601	0,0300
Bario (Ba)	0,1569	---	0,7	0,1265	0,1489
Plomo (Pb)	0,0822	0,2	0,01	0,0026	0,0026
Cobre (Cu)	0,0216	0,5	0,1	0,0045	0,002
Cromo (Cr)	0,0157	0,1	0,05	0,0036	0,0007
Mercurio (Hg)	0,0087	0,002	0,001	0,0004	0,0004
Titanio (Ti)	0,0083	---	---	0,0006	0,0006
Berilio (Be)	0,0059	---	0,012	0,00007	0,00007
Plata (Ag)	0,0056	---	0,01	0,0077	0,0053

**Fuente:** Informe de ensayo LAS 01 – AG – AC – 22 – 00459.

En la tabla 14, se observa los resultados de biosorción de acuerdo a los parámetros del diseño de estudio (Ver tabla 6), la biosorción de metales pesados en un pH de 10 y tiempo de 30 min, es menor al respecto de un pH 12,10 en un tiempo de 60 min. Asimismo, se observa también que a medida va aumentando el pH durante la remoción, va reduciendo la concentración de metales pesados, debido a que, los parámetro de pH y tiempo, es fundamental en el tratamiento de aguas residuales de la mina con el uso de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*), por lo tanto, la capacidad de biosorción depende de los parámetros del diseño de pH y tiempo, es decir, a mayor pH y a mayor tiempo, es mayor la capacidad de biosorción de metales pesados, así como señala Reyes et al (2006) la capacidad de adsorción depende de las variables operativas y el proceso depende en gran medida del pH.

Tabla 15

Resultados de biosorción de metales pesados según parámetros óptimos

No	Metales totales	Ci (mg/L)	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	
			Biomasa de Waraqqo ( <i>Echinopsis maximiliana</i> )	Biosorción de metales pesados	
			P: 12,10 y t: 60 min Cf (mg/L)	Qt (mg/g)	% Remoción
1	Aluminio (Al)	19,1	2,68	8210	85,97
2	Hierro (Fe)	11,6	0,057	5771,5	99,51
3	Manganeso (Mn)	6,7095	0,1683	3270,6	97,49
4	Zinc (Zn)	2,04	0,0031	1018,45	99,85
5	Estroncio (Sr)	1,479	1,41	34,5	4,67
6	Níquel (Ni)	0,5525	0,0305	261	94,48
7	Cobalto (Co)	0,2133	0,0133	100	93,76
8	Arsénico (As)	0,179	0,0300	74,5	83,24
9	Bario (Ba)	0,1569	0,1489	4,0	5,10
10	Plomo (Pb)	0,0822	0,0026	39,8	96,84
11	Cobre (Cu)	0,0216	0,002	9,8	90,74
12	Cromo (Cr)	0,0157	0,0007	7,5	95,54
13	Mercurio (Hg)	0,0087	0,0004	4,15	95,40
14	Berilio (Be)	0,0059	0,0001	2,915	98,81
15	Plata (Ag)	0,0056	0,0053	0,15	5,36
16	Titanio (Ti)	0,0083	0,0006	3,85	92,77

**Fuente:** Informe de ensayo LAS 01 – AG – AC – 22 – 00459.

En la tabla 15, se observa respecto a la capacidad de biosorción (Q), siguiendo los pasos de las ecuaciones 3 y 4; se logró una mejor remoción de metales pesados usando biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) como biosorbente, en un tiempo de 60 min y pH 12.10; lográndose un rendimiento eficiente de remoción; de 19,1 mg/L a 2,68 mg/L de Al; 11,6 mg/L a mg/L a 0,057 de Fe; 6,7095 mg/L a 0,1683 mg/L de Mn; 2,04 mg/L a 0,031 mg/L de Zn; 1,479 mg/L a 1,41 mg/L de Sr; 0,5525 mg/L a 0,0305 mg/L de Ni; 0,2133 mg/L a 0,031 mg/L de Co; 0,179 mg/L a 0,03 mg/L de As; 0,1569 mg/L a 0,1489 mg/L de Ba; 0,0822 mg/L a 0,0026 mg/L de Pb; 0,0216 mg/L a 0,002 mg/L de Cu; 0,0157 mg/L a 0,0007 mg/L de Cr; 0,0087 mg/L

a 0,0004 mg/L de Hg; 0,0059 mg/L a 0,0001mg/L de Be; 0,0056 mg/L a 0,0053 mg/L de Ag y 0,0083 mg/L a 0,0006 mg/L Ti.

**Según tabla 15, el segundo objetivo se discute en los siguientes términos:**

Los resultados en el presente estudio guardan relación con los resultados que obtuvo Carpio (2017) en soluciones acuosas de Pb (II) y Cd (II) fueron puestas en contacto con el biosorbente bacteriano (biomasa de la cepa RHC-06), pero en lo que no concuerda el estudio se llevó a cabo con una solución simulada; por otra parte, Gonzales (2016) realizó un estudio sobre plomo (Pb) y zinc (Zn) con la cáscara de plátano (*Musa sapientum*) en aguas residuales de un laboratorio de análisis químico con concentraciones iniciales de Pb y Zn ,se redujeron con éxito de 1,659 y 12,80 mg/L respectivamente a 0,337 y 4,303 mg/L.

Por otra parte, Fernández (2019) realizó un estudio metales pesados y obtuvo como resultado Mercurio (Hg) de 0,0001 mg/L, Plomo (Pb) de 0,029 mg/L, Arsénico (As) de 0,012 mg/L, Cianuro (CN) de 0,561 m/L en el río Puyango Tumbes, asimismo, Vega (2012) realizó un estudio del nivel de contaminación con metales pesados (Pb, Cu, Hg, As, Fe), sin embargo, ninguno de los autores han realizado tratamiento alguno para remover los metales pesados encontrados y a la vez, los resultados no han sido certificados por ningún laboratorio acreditado.

Según los resultados que se obtuvo, la biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) se considera como un biosorbente eficiente en la biosorción de metales pesados, asimismo los hallazgos en el presente estudio tienen relación con Sanga (2007) utilizó pectina como como material biodegradable en la remoción de metales pesados y logró remover el Cu, Ni, Zinc, Cd y Pb, por otra parte Campo y Ríos (2021) obtuvo la mayor eficiencia de remoción de plomo (II) con la especie *Opuntia ficus indica* (L.) Miller “nopal” con un 69,28% de remoción con muestras de agua de la cuenca alta del río Moche – Trujillo.

Además, los grupos funcionales como grupo hidroxilo, cetona, éster, ácido carboxílico y sulfato en la biomasa Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) contienen electrones libres, es decir, existe una alta afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y los contaminantes con metales, lo que demuestra que los resultados son consistentes con los valores correspondientes obtenidos por Cañizares (2000)

sostiene que la remoción de metales pesados de medios líquidos mediante el uso de sistemas biológicos es un proceso eficiente y económicamente viable.

Según la caracterización química del biopolímero natural de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) presenta grupos funcionales de carboxilos, hidroxilos, sulfatos y aminas, estos resultados tienen concordancia con los estudios realizados por He y Chen (2014) los biosorbentes contienen grupos amina, hidroxilo, carboxilo, fosfato y sulfatos” y además después del proceso de activación Ácida y Básica generan electrones libres para la protonación con metales pesados y por ser una biomasa de carácter Gel también generan espacios vacíos para encapsular los metales.

Observando los resultados de la tabla 15, se infiere, que la biosorción de metales pesados a partir de una concentración alta a baja, se debe a la unión de los metales con biomasa, tal como sostiene Carpio (2017) el mecanismo se da entre el intercambio iónico, adsorción, complejación, microprecipitación y cristalización en paredes celulares, principalmente físicos (fuerzas de London y/o Van Der Waals) o químicos (enlace iónico o covalente) entre adsorbente y adsorbato; por consiguiente, los resultados de este estudio de investigación demuestran que el empleo de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis Maximiliana*) en el tratamiento de aguas residuales de la mina resulta ser un método eficiente y efectivo para la remoción de metales pesados, además estos resultados se corroboran con Areco (2011) que ciertos tipos de biomasa viva o muerta para la remoción requiere de pocos minutos de tratamiento.

Asimismo, el uso de biomasa natural a partir de celulosa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) produce ligandos libres cuando es activada por hidrólisis ácida, mientras que la activación alcalina produce porosidad con alta capacidad para encapsular metales pesados.

#### 4.2.2.2. Análisis gráfico estadístico de biosorción de metales totales

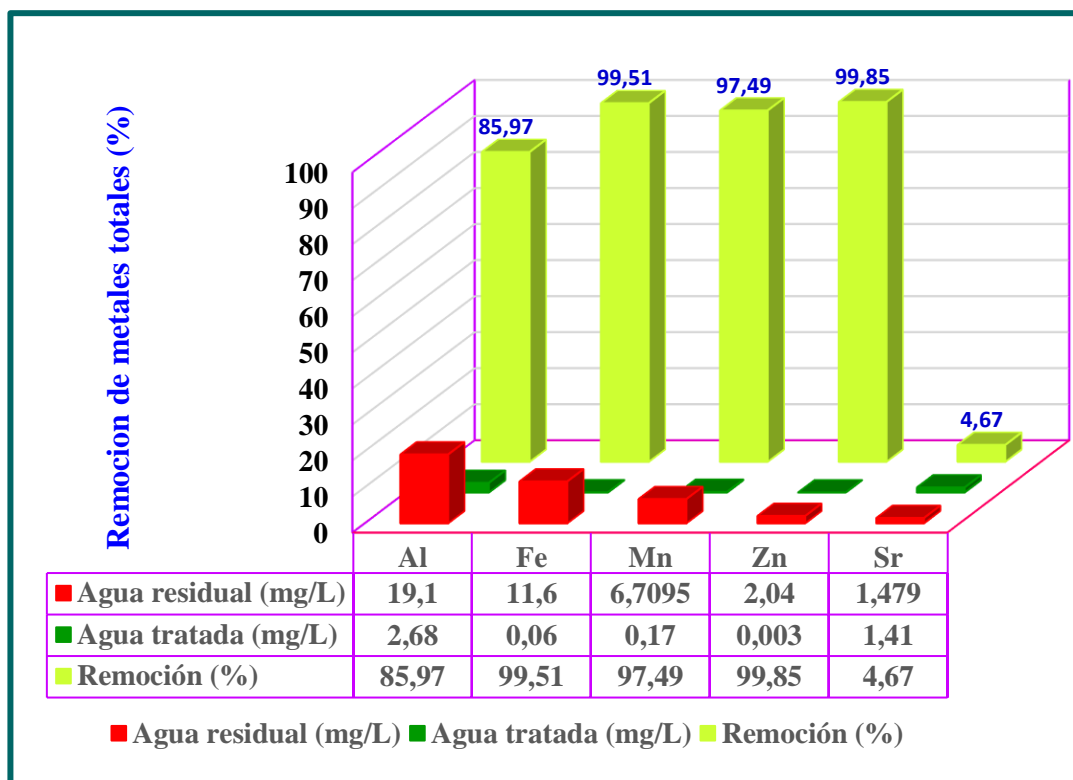


Figura 4. Porcentaje de remoción de Al, Fe, Mn, Zn y Sr

En la figura 4, se observa el porcentajes de remoción de metales pesados, de las pruebas realizadas a un pH de 12,10 en un tiempo de 60 minutos; de los cuales, se tiene que, a partir de la concentración inicial ( $C_i$ ) 19,1 mg/L de Al, se redujo a 2,68 mg/L lográndose una remoción de 85,97% de Al; a partir de una concentración ( $C_i$ ) de 11,6 mg/L de Fe se redujo a 0,06 mg/L lográndose una remoción de 99,51% de Fe; a partir de una  $C_i$  de 6,7095 mg/L de Mn se ha reducido a 0,17 mg/L lográndose una remoción de 97,49 % de Mn; a partir de una  $C_i$  de 2,04 mg/L de Zn se ha reducido a 0,003 mg/L lográndose una remoción de 99,85 % de Zn y a partir de una  $C_i$  de 1,479 mg/L de Sr se redujo a 1,41 mg/L lográndose una remoción de 4,67 % de Sr.

La remoción de Zinc, se logró un 99,85%, este resultado tiene concordancia con los resultados obtenidos por Gonzales (2016) estudió los efectos de la velocidad y la temperatura de agitación en la adsorción de zinc (Zn) en cáscaras de plátano (*Musa Sapientum*) en aguas residuales de laboratorios de análisis químico; logró disminuir Zinc de 12,80 mg/L respectivamente hasta 4,303 mg/L, obteniendo una adsorción de 66,37% de Zn. Por un lado, Sanga (2007) realizó remoción de metales pesados utilizando la pectina como material biodegradable; logró removerse hasta un 64% de

Zinc; por lo tanto, en el presente trabajo de estudio, el uso de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis Maximiliana*) es eficiente para el tratamiento de aguas residuales de la mina con alta concentración de metales pesados, tales como Al, Fe, Mn y Zinc.

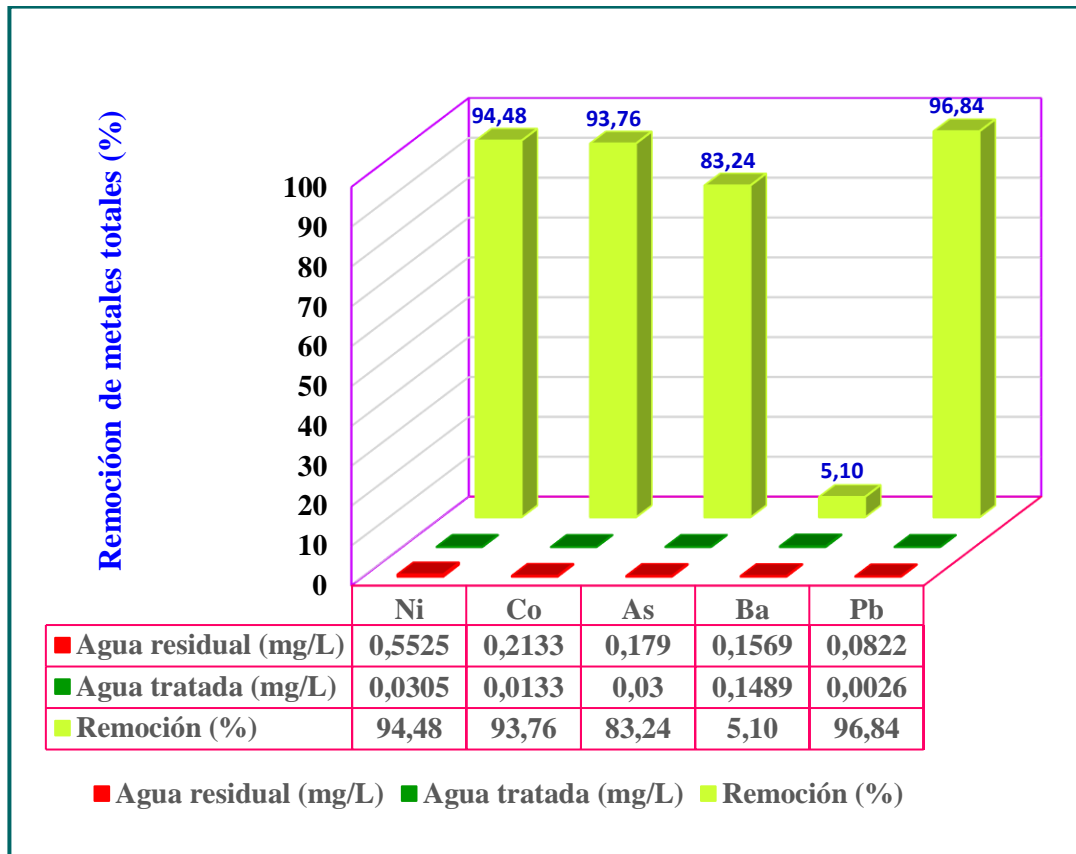


Figura 5. Porcentaje de remoción de Ni, Co, As, Ba y Pb

En la figura 5, se observa los porcentajes de biosorción de metales pesados, de las pruebas realizadas a un pH de 12.10, en un tiempo de 60 min; de los cuales, se tiene que, de concentración inicial ( $C_i$ ) de 0,5525 mg/L de Ni, se ha reducido a 0,0305 mg/L lográndose una remoción de 94,48 % de Ni; a partir de una  $C_i$  de 0,2133 mg/L de Co, se redujo a 0,0133 mg/L lográndose una remoción de 93,76 % de Co; a partir de una  $C_i$  de 0,179 mg/L de As, se redujo a 0,03 mg/L, lográndose una remoción de 83,24 % de As; a partir de una  $C_i$  de 0,1569 mg/L de Ba, se redujo a 0,1489 mg/L, lográndose una remoción de 5,10 % de Ba y a partir de una  $C_i$  de 0,0822 mg/L de Pb, se redujo a 0,0026 mg/L, lográndose una remoción de 96,84 % de Pb.

La remoción de Níquel (Ni), Cobalto (Co), Arsénico (As) y Plomo (Pb) con el uso de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) en tratamientos de agua residual es muy eficiente, además estos datos tiene concordancia con los resultados obtenidos

por Sanga (2007) utilizando como biodegradable pectina; logró remover un 81,73% de Ni, asimismo, Campos y Ríos (2021) logró la mayor eficiencia de remoción de plomo (II) con la especie *Opuntia ficusindica* (L.) Miller “nopal” con un 69,28%; del mismo modo, Bonilla (2016) utilizando Cáscara de naranja (*Citrus Sinensis*), logró remover un 95,686 %. Pb; similar resultado obtuvo Gonzales (2016), utilizando cáscara de plátano (*Musa Sapientum*), obteniendo una adsorción de 79,76% de Pb; por lo tanto, en el presente estudio de biosorción de metales pesados de agua residual de la mina con el uso de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) tiene relación con los estudios realizados por otros investigadores ya mencionados.

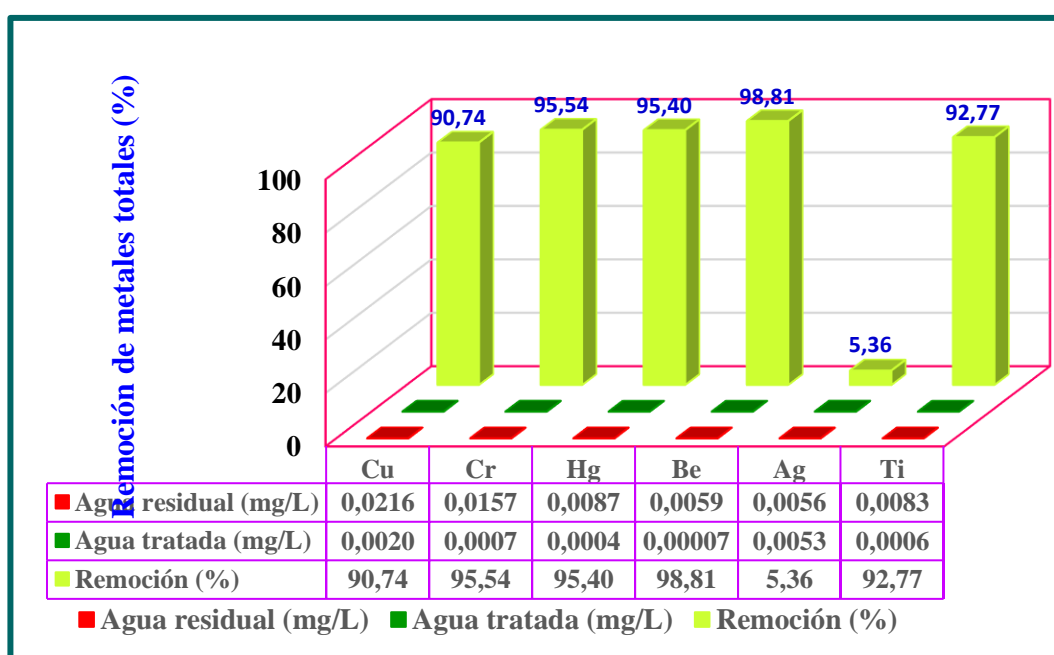


Figura 6. Porcentaje de remoción de Cu, Cr, Hg, Ag y Ti

En la figura 6, se observa los porcentajes de biosorción de metales pesados, de las pruebas realizadas a un pH de 12.10, en un tiempo de 60 minutos; de los cuales, se observa de una concentración inicial (Ci) de 0,0216 mg/L de Cu, se redujo a 0,0020 mg/L, lográndose una remoción de 90,74 % de Cu; a partir de una Ci de 0,0157 mg/L de Cr, se ha reducido a 0,0007 mg/L, lográndose una remoción de 95,54 % de Cr; a partir de una Ci de 0,0087 mg/L de Hg, se ha reducido a 0,0004 mg/L, lográndose una remoción de 95.40 % de Hg; a partir de una Ci de 0,0059 mg/L de Be, se ha reducido a 0,00007 mg/L, lográndose una remoción de 98,81 % de Be; a partir de una Ci de 0,0056 mg/L de Ag, se ha reducido a 0,0053 mg/L, lográndose una remoción de 5,36 % de Ag y a partir de una Ci de 0,0083 mg/L de Ti, se ha reducido a 0,0006 mg/L, lográndose una remoción de 92,77 % de Ti.



Los resultados de remoción de Cu, Cr, Hg, Be y Ti, son altos, estos resultados coincide con los resultados que obtuvo Sanga (2007), utilizando la pectina como material biodegradable logró removerse hasta un 47,06 % de Cu; por un lado, Rosas (2019) utilizando hueso de olivo (*Olea europea*) logró una remoción máxima de 66,82% de Cr, por lo tanto, en el presente trabajo de investigación, el uso de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) es eficiente para la biosorción de agua residual de la mina la Rinconada con altas concentraciones de metales pesados, así como Cu, Cr, Hg, Be y Ti, sin embargo, los autores anteriormente citados no han consignado los resultados por un laboratorio acreditado.

#### 4.2.2.3. Análisis gráfico estadístico según LMP

En la siguiente figura 7, se observa la comparación y diferencia de los resultados de concentración inicial (Ci) de agua residual y concentración final (Cf) de agua residual tratada al respecto de los Límites Máximos Permisibles (LMP para el drenaje de aguas residuales líquidas de plantas mineras y metalúrgicas), normado por el D.S. N° 010 – 2010 – MINAM.

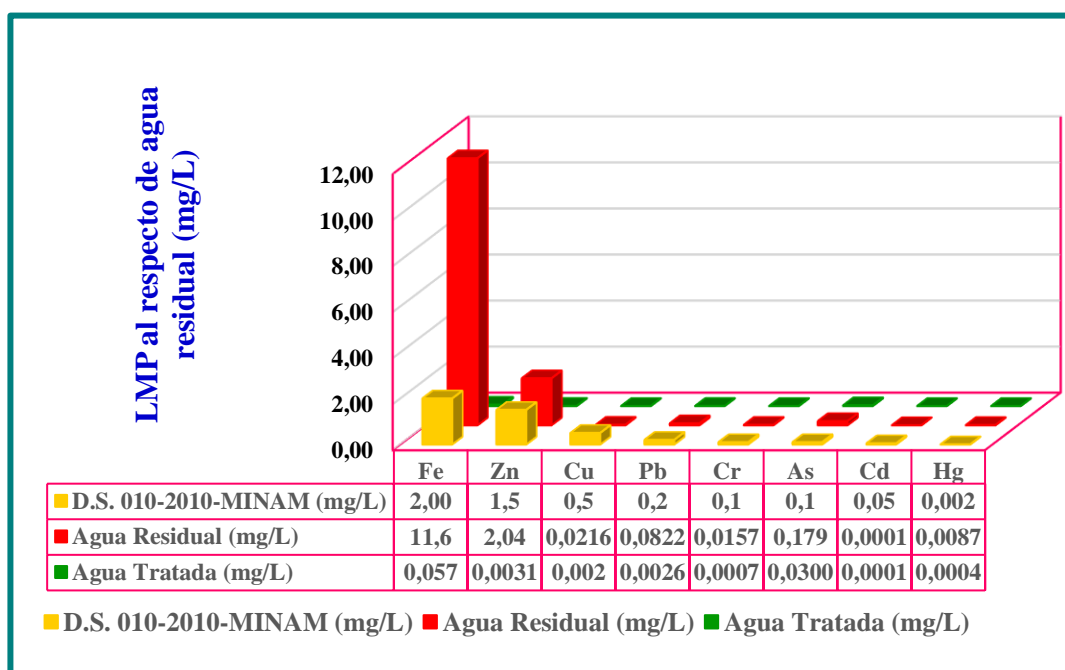


Figura 7. Comparación de agua residual y tratada con el D.S. 010 - 2010 - MINAM

Se puede ver en la figura 7, que las concentraciones de metales pesados Fe, Zn, As y Hg se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisible (MLP) establecido por la normativa ambiental del Decreto Supremo N° 010 – 2010 – MINAM, en

cambio la concentración de metales pesados de Cr, Pb, Cr y Cd aún se encuentra por debajo de los Límites Máximos Permisibles. Después del tratamiento de las aguas residuales de la mina con biomasa Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*), la concentración final de metales pesados ese encuentra por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) normativa Ambiental Decreto Supremo N° 010 – 2010 – MINAM.

#### 4.2.2.4. Análisis gráfico estadístico según ECA

El siguiente gráfico, muestra una comparación de los resultados de la concentración inicial de agua residual (Ci) y la concentración final (Cf) después de la biosorción, según la norma de calidad ambiental del agua (ECA) establecida por el Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM.

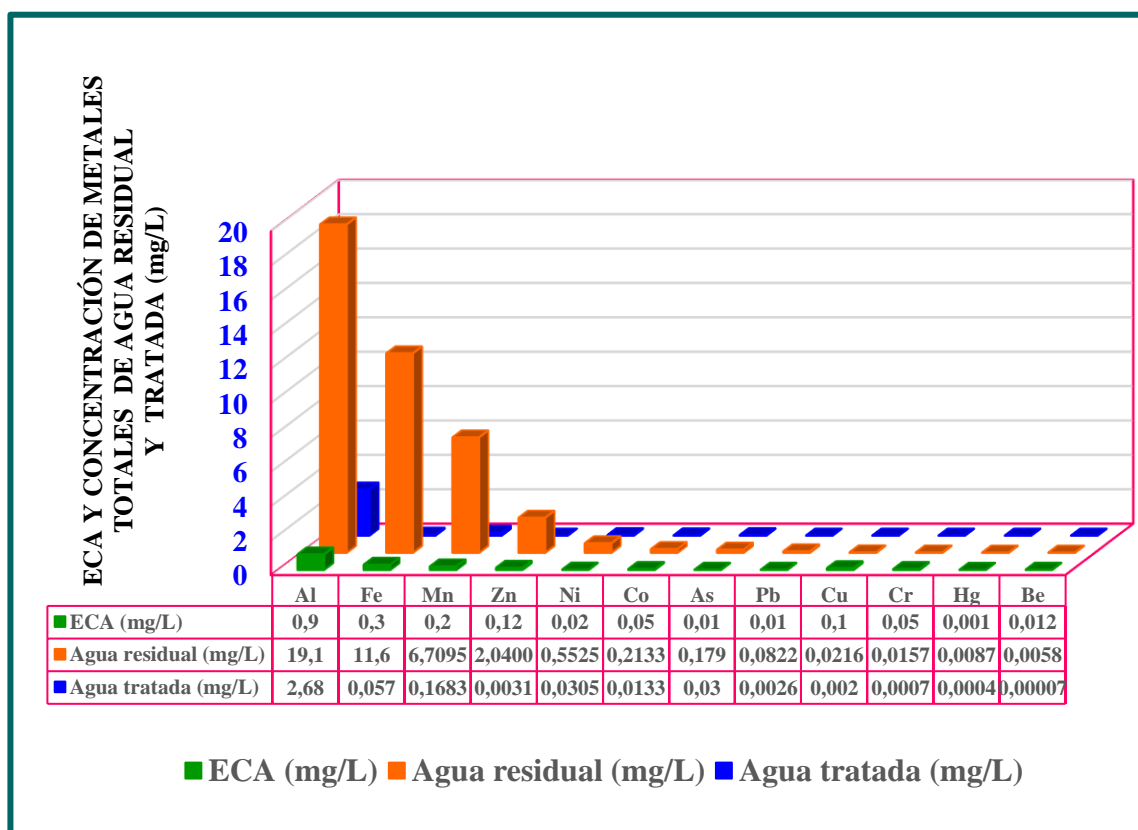


Figura 8. Comparación de agua residual y tratada con el D.S. 004 - 2017 - MINAM

Figura 8, se muestra la concentración de metales pesados Al, Fe, Mn, Zn, Ni, Co, As, Pb, Hg; los cuales, exceden el Límite Máximo Permisible (MLP) en el estándar de calidad ambiental (ECA) establecido por el Decreto Supremo N° 004 - 2017 - MINAM, sin embargo, la concentración de metales pesados Cu, Cr y Be se encuentra

por debajo de la Norma de Calidad Ambiental para Agua (ECA). Asimismo, después de la biosorción de aguas residuales de mina con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) las concentraciones iniciales de metales pesados están por debajo del Estándar de Calidad Ambiental (ECA); a excepción del aluminio (Al) con concentración inicial de 19,1 mg/L, este valor desciende a 2,68 mg/L, debido a que, la concentración inicial es alta; sin embargo, cuanto mayor sea la cantidad de biomasa y mayor tiempo de remoción, menores serán los resultados.

#### 4.3. Resultados estadísticos

Para los resultados estadísticos se aplicó la **prueba de hipótesis para dos parámetros**, es decir, prueba “t” de Student para medias poblacionales de dos muestras relacionadas.

Tabla 16

*Datos de análisis estadístico por diferencias*

Nº	Metales totales	Antes del tratamiento: Ci (mg/L)	Después del tratamiento: Cf (mg/L)	Diferencia: d
1	Aluminio (Al)	19,1	2,68	16,42
2	Hierro (Fe)	11,6	0,057	11,543
3	Manganeso (Mn)	6,7095	0,1683	6,5412
4	Zinc (Zn)	2,04	0,0031	2,0369
5	Níquel (Ni)	0,5525	0,0305	0,522
6	Cobalto (Co)	0,2133	0,0133	0,2
7	Arsénico (As)	0,179	0,03	0,149
8	Plomo (Pb)	0,0822	0,0026	0,0796
9	Cobre (Cu)	0,0216	0,002	0,0196
10	Cromo (Cr)	0,0157	0,0007	0,015
11	Mercurio (Hg)	0,0087	0,0004	0,0083
12	Berilio (Be)	0,0059	0,00007	0,00583
13	Titanio (Ti)	0,0083	0,0006	0,0077
14	Magnesio (Mg)	38,19	0,1436	38,0464

##### 4.3.1. Prueba de hipótesis

**Hipótesis nula:  $H_0: \mu d \leq 0$ :** El Warraqqo (*Echinopsis maximiliana*) no es eficiente para la biosorción de metales pesados totales de agua residual de la mina la Rinconada.

**Hipótesis Alterna:  $H_1: \mu d > 0$ :** La Biomasa de Warraqqo (*Echinopsis maximiliana*) es eficiente y tiene un rendimiento alto en la biosorción de metales pesados totales de

agua residual de la laguna Lunar de Oro del centro poblado de la mina la Rinconada.

Aplicando las ecuaciones 5, 6 y según la tabla se tiene:

Donde:

$$gl = (n-1) = 13$$

$$t(1-\alpha)(n-1) = 1,771$$

$$p - \text{Valor} = 0,040$$

$$\alpha = 0,05$$

$$\bar{d} = 5,400$$

$$n = 14$$

$$S_d = 10,704$$

$$t = 1,887$$

Según los datos, se tiene la siguiente figura:

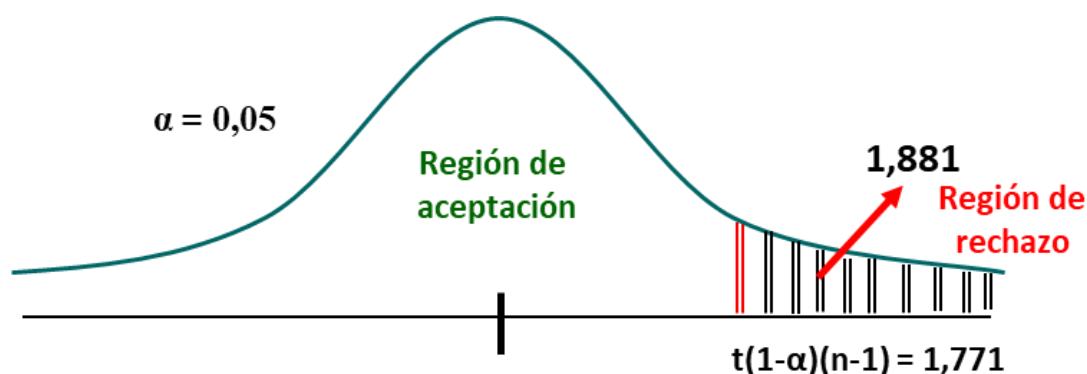


Figura 9. Estadística de prueba.

**4.3.2. Regla de decisión:** Según la prueba de hipótesis, no se acepta la Hipótesis nula ( $H_0$ ).

**Conclusión:** La diferencia promedio de biosorción de metales pesados con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) es mayor a cero, es decir, la concentración inicial de los 14 metales es mayor a la concentración final, luego de haber aplicado la biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) en la biosorción de metales pesados totales de agua residual de la mina la Rinconada.

## CONCLUSIONES

El uso de biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) es eficiente en la biosorción de metales pesados totales en agua residual efluente de la mina la Rinconada, el estudio se desarrolló por exposición del material de biomasa de 0,3 gramos en un volumen de 150 mL de agua residual; el rendimiento es **alto**, debido a que los grupos funcionales como el grupo hidroxilo, la cetona, el éster, el ácido carboxílico y el los sulfatos en la biomasa contienen electrones libres, lo que significa que, existe una gran afinidad entre los grupos funcionales de la biomasa y las aguas residuales de la mina con metales pesados presentes.

El agua residual, efluentes de las actividades de la mina la Rinconada, antes del tratamiento tiene un alto contenido de metales pesados como elementos de traza tales como Al (19,1 mg/L), Fe (11,6 mg/L), Mn (6,7095 mg/L), Zn (2,04 mg/L), Ni (0,5525 mg/L), Co (0,2133 mg/L), As (0,179 mg/L), Cr (0,0157mg/L), Pb (0,0822 mg/L) y Hg (0,0087 mg/L); los cuales, se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles de Estándar de Calidad Ambiental (ECA). Asimismo, los metales pesados de Fe, Zn, As y Hg, se encuentran por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para descargar aguas residuales líquidas de operaciones mineras y metalúrgicas.

El agua tratada de efluentes de las actividades de la mina la Rinconada, después de la biosorción tiene menor concentración de metales pesados de elementos de traza, y fueron removidos los metales de Al un 85,97% (19,1 a 2,68 mg/L), Fe un 99,51% (11,6 a 0,06 mg/L), Mn un 97,49 % (6,7095 a 0,17 mg/L), Zn un 99,85% (2,04 a 0,0031 mg/L), Ni un 94,48 % (0,5525 a 0,0305 mg/L), Co un 93,76 % (0,2133 a 0,0133 mg/L), As un 83,24% (0,179 a 0,03 mg/L), Pb un 96,84% (0,0822 a 0,0026 mg/L), Cu un 90,74% (0,0216 a 0,0020 mg/L), Cr un 95,54% (0,0157 a 0,0007 mg/L), Hg un 95,40% (0,0087 a 0,0004 mg/L), Be un 98,81 % ( 0,0059 a 0,00007 mg/L) y Ti un 92,77 % (0,0083 a 0,0006 mg/L).



## RECOMENDACIONES

Realizar ensayos de pruebas de activación de Biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) con ácidos naturales.

Continuar con los estudios de biosorción con biomasa Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) a pH de 2, 4 y 7 y con otras especies de biomasa, como Cactus, asimismo, profundizar en el estudio de esta biomasa determinando su comportamiento como biosorbente.

Implementar planta piloto de tratamiento de agua residual con biomasa de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) en cada unidad minera.

Al público en general, cultivar o practicar el plantado de Waraqqo (*Echinopsis maximiliana*) en jardines o macetas para tratar las aguas subterráneas (pozos entubados) que pueden contener metales pesados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J.A. (2008). Los metales pesados en las aguas residuales.
- Alloway B.J. (2013). Heavy metals in soils, trace metals and metalloids in soils and their bioavailability. 3ra edición. Springer, Reading, Reino Unido.
- Areco, M. del M. (2011). Métodos alternativos para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados. FCEN, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. Universidad de Buenos Aires.
- Baird C, Cann M. (2014). Química Ambiental. 5ed. Buenos Aires:editorial Revete.
- Banwell C. N. y Popovych O., (1994) “Fundamentals Of Molecular Spectroscopy”, Ed. Mc Graw Hill Co, England, UK.
- Basterrechea, C.; Pérez, A.; González, M.; Rodríguez, F. y Alfayate, J. (2003). Contaminación Ambiental. Thomson Editores Spain. España.
- Basso M.C., Cerrella E.G. y Cukierman A.L. (2002). Empleo de algas marinas para la biosorción de metales pesados de aguas contaminadas. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Argentina.
- Beltrán, M. y Gómez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética. Argentina.
- Benavente, M., Sjoren, A. y Martínez, J. (2007). Remoción de mercurio de efluentes mineros por Biosorción de quitosano. Managua – Nicaragua.
- Bonilla, H. (2016). Modelamiento de las isotermas de bioadsorción del plomo (II) del efluente minero río Anticona – Cerro de Pasco utilizando Citrus Sinensis (Cáscara de naranja). Huancayo – Perú.
- Borda M.J. y Sparks D.L., (2008). Kinetics and mechanisms of sorption-desorption in soils: a multiscale assessment, in: Violante A., Huang P.M., Gadd G.M. (Eds.), Biophysico-Chemical Processes of Heavy Metals and Metalloids in Soil Environments, Wiley, New Jersey, USA.
- Boy, A. (2015). Determinación de metales pesados en agua, peces, almejas e Hydrilla

Verticillata del lago de Izabal. Guatemala.

- Branco, F., Gomez, J. y Fernanadez,P.(1984). Bioquímica de soluciones acuosas contaminadas con metales pesados. Edit.Mc.Gregor. Madrid España.
- Bustamante, E. (2011). Adsorción de metales pesados en residuos de café modificados químicamente. México.
- Calderón, C. (1997). Serie Autodidacta en Materia de Normas Técnicas Relacionadas con la Inspección y Verificación. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Cañizares V. Rosa (2000). Biosorción de Metales Pesados mediante el uso de biomasa microbiana. México. Revista Latinoamericana de Microbiología.
- Campos E. y Rios C. (2021) “Eficiencia de Opuntia Ficus – Indica (L.) Miller y Echinopsis pachanoi en la remoción de plomo (II) de la cuenca alta del río Moche – Trujillo. Perú.
- Carpio, C. (2017), Tesis doctoral en Ciencias y Tecnologías Medioambientales “Estudio de la bioadsorción de Pb (II) y Cd (II) usando como biomasa a Escherichia Coli aislada de las aguas contaminadas del río Huatanay de la ciudad del Cusco”. Arequipa – Perú.
- Carreño et al., (2017). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la Microcuenca del río Carrizal. Ecuador.
- Carro, D. (2012). Modificaciones superficiales de la Biomasa de Alga (Sargassum muticum) para la eliminación de mercurio. Coruña – Colombia.
- Córdova, C. (2016). Biosorción de  $Pb^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  en solución bajo diferentes condiciones de laboratorio usando la macrofita acuática Typha latifolia inerte. Tesis para optar al grado de Maestra en Ciencias de la Tierra. Posgrado en Ciencias de la Tierra. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cortuelo L., (1999). Marqués Gutiérrez, María Dolores. Los metales pesados en las aguas (I), su origen. Acción de agentes biológicos.
- Doménech X. Peral J. (2012). Química ambiental de sistemas terrestres. Editorial Reverté S.A. Impreso por Impulso Global Solutions. España.



- Duffus J.H. (2002). Heavy metals - A meaningless term (IUPAC Technical Report).
- Fadzil, F., Ibrahim, S., y Hanafiah, M. A. K. M. (2016). Adsorption of Pb (II) onto organic acid modified rubber leaf powder: Batch and column studies. *Process Safety and Environmental Protection*.
- Fernández, J. (2019). Nivel de contaminación por metales pesados: Hg, Pb, As y Cianuro (CN-), en el naciente río Binacional Puyango –Tumbes.
- Fergusson, J.E., (1990). Los elementos pesados: química, impacto ambiental y efectos sobre la salud. Pergamon Press, Nueva York.
- Flores, H. (2016). “Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera”. Cajamarca – Perú.
- Fernández J. (2004). Energías renovables para todos: Biomasa, In *Energías Renov. para todos*. Madrid, España: Biomasa.
- Fomina, M. y Gadd, G.M., (2014). Biosorption: Current perspectives on concept, definition and application. *Bioresour.*
- Förstner, U.; Wittmann, G. T. W., (1983). Metal pollution in the aquatic environment. Ed. Springer-Verlag.
- Gadd, G. M. (1988). Accumulation of metals by microorganisms and algae.
- Garbossa, G. (1996). Mecanismos de la anemia de la insuficiencia renal crónica, toxicidad de aluminio. Universidad de Buenos Aires – Argentina.
- García V.R., Yipmantin A.G., Guzmán E.G., Pumachagua R., Maldonado H.J. (2011) Estudio de la cinética de biosorción de iones plomo en pectina reticulada proveniente de cáscaras de cítricos.
- Gautam R., A. Mudhoo, G. Lofrano y M. C. Chattopadhyaya (2014), "biosorbentes derivados de la biomasa para el secuestro de iones metálicos: métodos de modificación y activación adsorbente y regeneración adsorbente".
- Gonzales, A. (2016). Influencia de la velocidad de agitación y la temperatura sobre la adsorción de plomo (Pb) y zinc (Zn) con cáscara de plátano (*Musa Sapientum*), en las aguas residuales de laboratorios de análisis químico. Trujillo – Perú.

- Guevara, J. (1995). Toxicología médica clínica y laboratorio. Editorial Interamericana McGraw Hill. España.
- Guo, C. H. y Wang, C. L. (2011). El aluminio plasmático es un factor de riesgo de estrés oxidativo y estado de inflamación en pacientes en hemodiálisis. *Bioquímica clínica*.
- He, J., Chen, J.P. (2014). A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools. *Bioresour.*
- Heyder Edward y Dietr A. (1846). Descripción Botánica. *Revista Ilustrada*, Alemania.
- Inno-Vita, J. (2009). Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa.
- Jarup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*.
- Jbari, Nohman. (2012). Utilización secuencial de microalgas en depuración y adsorción de Cr (VI). Universidad de Granada. Granada. España.
- Jim F. (2015). Biorremediación de Metales Pesados. Arizona: Universidad de Arizona – Departamento de Ingeniería Química y Ambiental.
- Kumar, N. (2013). Modelación matemática del proceso de biosorción de Cr+6 y Ni+2: Estudios en serie en columnas de lecho fijo con Bagazo de Caña de Azúcar. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
- Leiva, J., Martínez, P. de la C., Esperanza, G., Rodríguez, I. L., y Gordiz, C. E. (2012). Absorción de hidrocarburos en columnas rellenas con bagazo: una solución sostenible. *ICIDCA*.
- Liu, Y., Wang J., (2009), Fundamentos y aplicaciones de isothermas de biosorción, cinética y termodinámica. Nova Science Publishers, Inc., Nueva York.
- Lucho, C., Álvarez, M., Beltrán, R., Prieto, F. y Poggi, H. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico.
- Luque, A. E. (2016). “Principales cambios económicos y sociales, en la comunidad ccochapiña donde se desarrolla el proyecto de exploración Sta. María, de la empresa

- minera Cerro Rojo S.A". Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Martínez, J. (2018). Conflictividad socio-ambiental de la minería en el Perú. El caso de Cajamarca.
- Masters GM; Ela WP. (2008). Introducción a la ingeniería medioambiental.
- Mori, C. M., Maldonado, G. H., Guzmán, L. E., Eyra, C. C., Bernardelli, Viera, M., y Donati, E. (2013). Estudio cinético e isotérmico de la biosorción de zinc (II) y cadmio (II) para un sistema mono metálico bimetálico por un *dariapinnatifida* SP. Revista Peruana de Química E Ingeniería Química.
- Muñoz Torres, M. C. (2007). Remoción de metales pesados en aguas residuales utilizando una macrófita acuática (*Eleocharis acicularis*) muerta. Universidad Autónoma de Querátero.
- Navarro, G. (1996). Catálogo Ecológico Preliminar de las Cactáceas. La Paz-Bolivia.
- Nieves; Rodríguez Vidal, Francisco; Alfayate Blanco José Marcos. (2003), International Thomson Editores; España.
- Norma NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de agua - Determinación de la temperatura en aguas naturales y residuales - Método de prueba. México.
- Norma NMX-AA-008-SCFI-2016 "Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas". Mexico.
- Norma OS.090. Plantas de tratamiento de aguas residuales. Perú.
- Obelholser K. Y Mc Garrity J. (1992). Interaction of metals and protons with algae. III: Marine algae, with emphasis on lead and aluminium. Environmental Science and Technology.
- Páez-Osuna, F., (2005). Efectos de los metales en: Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias.
- Reyes, E., Cerino, F. y Suárez, M. (2006). Remoción de Metales Pesados con Carbón Activado como Soporte de Biomasa.
- Rodríguez, S. (2018). Bioacumulación de metales pesados en *Schoenoplectus*

- californicus (Cyperaceae) de las áreas bentónicas en dos estaciones climáticas: El caso de estudio del Lago San Pablo, Imbabura-Ecuador.
- Rosas, Y. (2019). Caracterización y Remoción de Cromo (III) de aguas residuales de curtiembres del parque industrial de río seco utilizando hueso de olivo (*Olea europea*) procesado como Biosorbente”. Arequipa – Perú.
- Rojas, H.; Guerrero, D.; Vásquez, O. y Valencia, J. (2012). Aplicación del Modelo de Bohart y Adams en la Remoción de Mercurio de Drenajes de Minería por Adsorción con Carbón Activado. Colombia.
- Rayson, G.D., Williams, P. (2011). Comparative Metal Ion Binding to Native and Chemically Modified *Datura innoxia* Immobilized Biomaterials. *Biomater. - Phys.*
- Roane, T y Pepper I. (2000). Microorganisms and metal pollution, *Environmental Microbiology* edited by Maier R, Pepper I & Gerba C. Academic press. London New York.
- Salas, et al., (2010). Biosorción para la eliminación de metales pesados en aguas de desecho. *Química y Medio Ambiente*.
- Sanga, W. (2007). Remoción de metales pesados utilizando la pectina como material biodegradable. Puno – Perú.
- Selatnia A, Boukazoula A, Kechid N, Bakhti MZ, Chergui A (2004). Biosorption of Fe<sup>3+</sup> from aqueous solution by bacterial dead *Streptomyces rimosus* biomass.
- Stevenson, Augus; Lindberg Christine (2010). *New Oxford American Dictionary*. Oxford University Press).
- Vaca, A. (2018). Biorremediación de agua contaminada con cadmio empleando la técnica de Biosorción con tres especies de macroalgas. Guayaquil – Ecuador.
- Vega, j. (2012). Nivel de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Hg, As y Fe) en el río el Toro, distrito de Huamachuco de la provincia de Sánchez Carrión durante año 2009 – 2010. Trujillo – Perú.
- Valladares C. M.; Valeiro C. P. de la Cruz, y Melgoza R. M. (2017). Adsorbentes no convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales,”



Universidad Medellín.

Volesky, B. (1990). Eliminación y recuperación de metales pesados por biosorción.

Volesky B., (2003). Biosorption and me, Water Research.

Won, S.W., Kotte, P., Wei, W., Lim, A., Yun, Y.S., (2014). Biosorbents for recovery of precious metals. Bioresour.

Wood, J.M. (1974). Biological cycles for toxic elements in the Evironment.

Zhou F., Tseng R. y Juang R., (2009) "Characteristics of Elovich equation used for the analysis of adsorption kinetics in dye-chitosan systems", Chemical Engineering Journal.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### Waraqo (*Echinopsis maximiliana*)



#### Obtención del Biosorbente



1.1. Pesado



1.1. Secado



1.3. Molido



1.4. Muestra



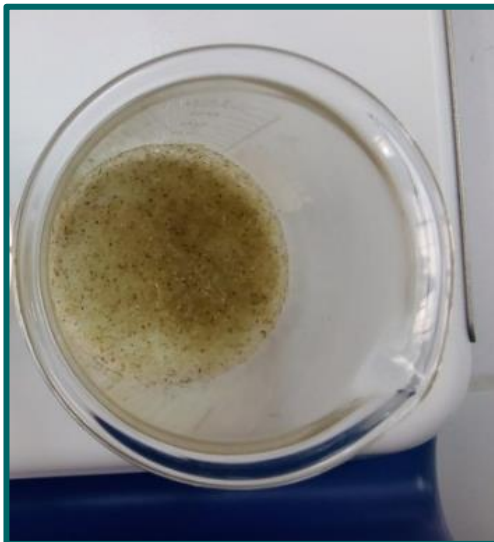
## ANEXO 2 Propiedades físicas del biosorbente



2.1. Densidad



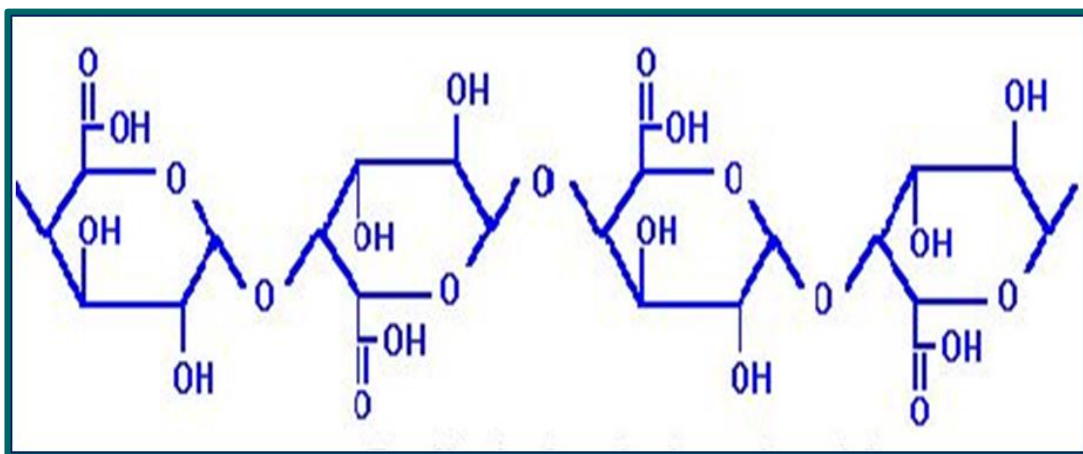
2.2. Medición del pH



2.3. Activación Ácida

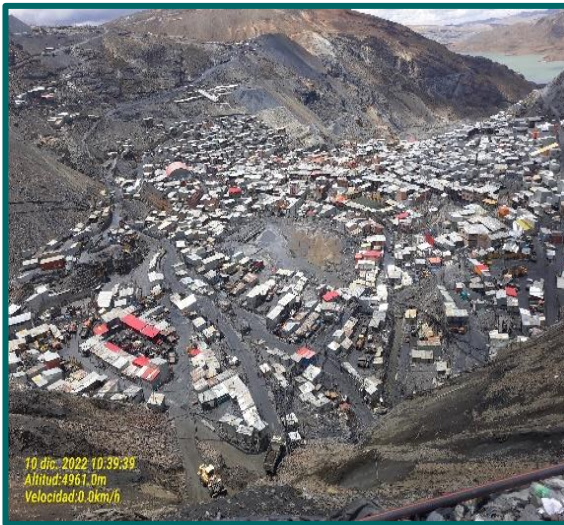


2.4. Activación alcalina



2.5. Estructura molecular de pectina

### ANEXO 3 Muestreo de agua residual



3.1. Lunar de oro



3.2. Poza de sedimentación



3.3. Medición de C.E.



3.4. Medición del pH



## ANEXO 4 Pruebas de biosorción



4.1. Biosorción



4.2. Ajuste del pH



4.3. Filtrado

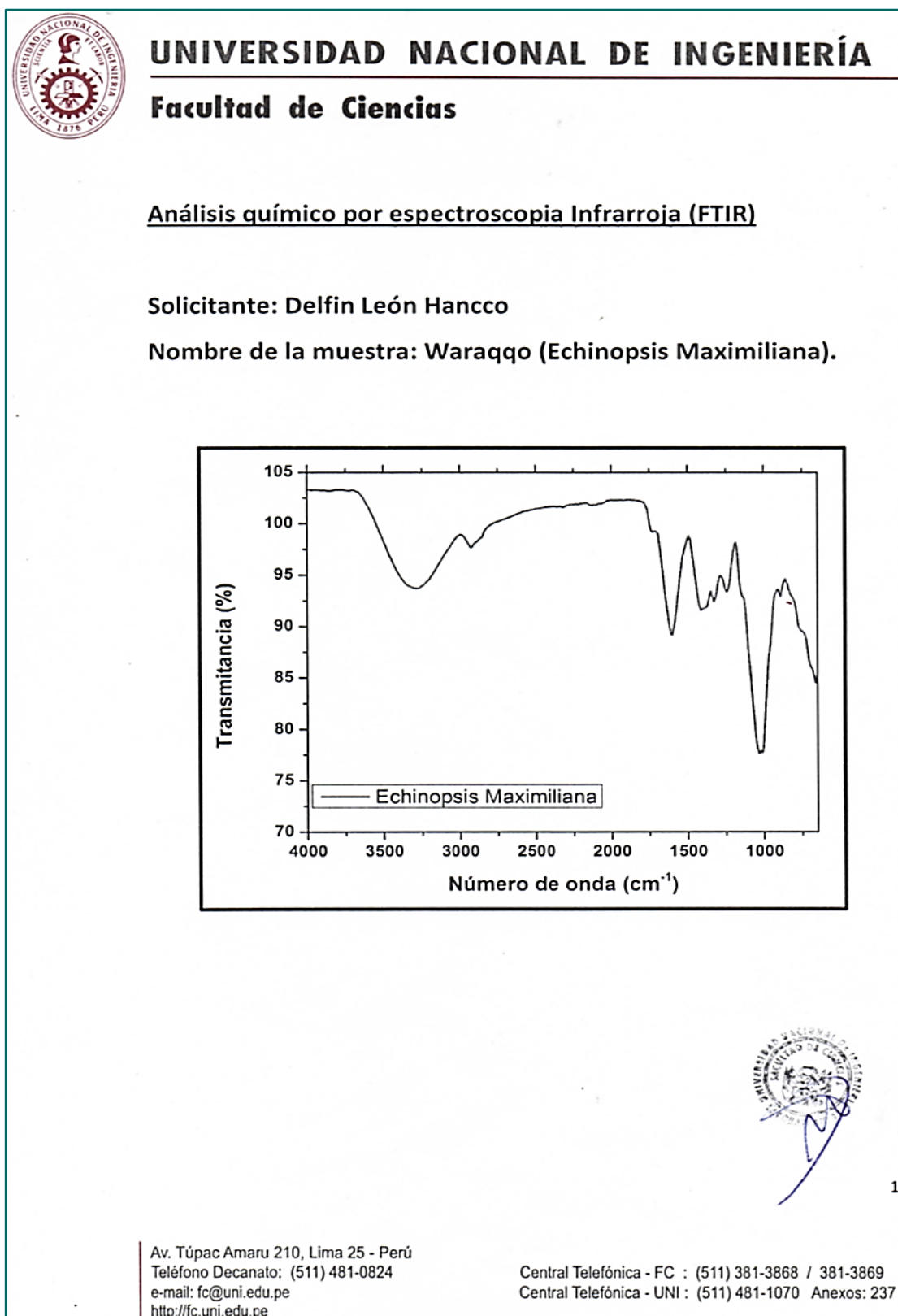
## ANEXO 5 Envío de muestras



5.1. Muestra de concentración inicial y AR-Tratada: pH: 12,10

## ANEXO 6

### Análisis Químico de biomasa del Biosorbente

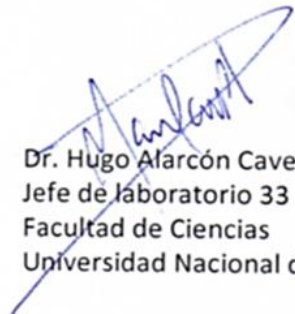


#### 6.1. Espectro de FTIR

### 1. Tabla de picos de vibraciones y su grupo funcional asociado.

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Grupo Funcional	Tipo de vibración
3286	-OH, -NH	Estiramiento (Tensión)
2920	R2-C-H	Estiramiento simétrico
2850	R-CH2	Estiramiento asimétrico
2314,2121	-C≡C-, -N=C=S	Estiramiento (tensión)
1728	-C=O (Cetonas, ácido carboxílicos)	Tensión
1600	-C=C- (Aromáticos)	Estiramiento
1411	R2-C-H	Flexión
1369	-CH2	Flexión
1242	-C-O- (éster, ácido carboxílicos)	Tensión
1029	-C-OH	Tensión
1006	=C-H, C-O-C	flexión
891	-S-O-	Flexión.
663	-N-H	Flexión fuera del plano

Lima, 26 de setiembre de 2017

  
 Dr. Hugo Alarcón Cavero  
 Jefe de laboratorio 33  
 Facultad de Ciencias  
 Universidad Nacional de Ingeniería




### 6.2. Picos de Vibraciones y grupo funcional asociado




## ANEXO 7

### Certificado de los resultados de análisis



**Laboratorios Analíticos del Sur**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

Registro N°LE - 050

---

Clave generada : BFF17026

**INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00457**

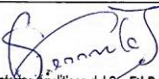
Fecha de emisión: 6/01/2023 Página 1 de 3

Señores : DELFIN LEON HANCCO  
 Dirección : AV . EL SOL E-9 URB. EL SOLAR DE CHALLAPAMPA - AREQUIPA- AREQUIPA  
 Atención : DELFIN LEON HANCCO  
 Proyecto : BIOSORCIÓN DE METALES PESADOS TOTALES DE AGUA RESIDUAL DE LA MINA LA RINCONADA CON BIOMASA DE WARAQQO (Echinopsis maximiliana)\*

**PROTOCOLO DE MUESTREO**

Muestreo realizado por : Cliente : DELFIN LEON HANCCO Fecha de recepción : 30/12/2022  
 Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 286-22 Fecha de ensayo : 30/12/2022  
 Plan de muestreo : Muestreado por el cliente  
 Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000810	AGUA RESIDUAL DE LA MINA	Agua Residual - Agua Residual Industrial	LUNAR DE ORO / RINCONADA / PUNO / PUNO	-14.623781 ; -69.449053	28/12/2022	10:30
<b>Condiciones de recepción de la muestra</b>						
Al ambiente						
<b>Observación</b>						
-						



Laboratorios Analíticos del Sur E.L.A.S.  
**Sixto Vicente Juárez Nelra**  
 Gerente General  
 Ing. Químico C.I.P.19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.


"<Valor numérico">=Límite de detección del método, "<Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

**Los resultados se aplican a la muestra como se recibió**

Validar el informe  
vía web



---

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Laboratorios Analíticos del Sur

## Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE  
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE - 050

Clave generada : BFF17026

### INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00457

Fecha de emisión: 6/01/2023

Página 2 de 3

#### RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802												
		As	Hg	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe
AG22000810	AGUA RESIDUAL DE LA MINA	0,1790	0,00867	0,0056	19,1	14,63	0,15690	0,005870	>250	<0,00011	0,213333	0,01569	0,0216	11,6

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802												
		K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO <sub>2</sub>	Sn
AG22000810	AGUA RESIDUAL DE LA MINA	>250	0,34225	38,19	6,7095	<0,00038	>250	0,55253	0,1151	0,0822	0,00573	<0,002	52,09	<0,00085

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802				
		Sr	Ti	Tl	V	Zn
AG22000810	AGUA RESIDUAL DE LA MINA	1,479	0,00838	<0,0013	0,00747	2,040

Laboratorios Analíticos del Sur E.S.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P. 19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico"=Limite de detección del método, ">Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.





Laboratorios Analíticos del Sur

## Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE  
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Clave generada : BFF17026

### INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00457

Fecha de emisión: 6/01/2023

Página 3 de 3

#### MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
796	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Mercurio Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L

a : Límite detección

b : Límite de cuantificación

Fin del informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P. 19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(\* ) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"\* < Valor numérico " = Límite de detección del método, " > < Valor Numérico " = Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe  
vía web



## 7.1. Resultados de análisis de agua residual antes del tratamiento.





Laboratorios Analíticos del Sur

## Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE  
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Clave generada : 58495D21

### INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00459

Fecha de emisión: 6/01/2023

Página 1 de 3

Señores : DELFIN LEON HANCCO  
Dirección : AV. EL SOL E-9 URB. EL SOLAR DE CHALLAPAMPA - AREQUIPA- AREQUIPA  
Atención : DELFIN LEON HANCCO  
Proyecto : BIOSORCIÓN DE METALES PESADOS TOTALES DE AGUA RESIDUAL DE LA MINA LA RINCONADA CON BIOMASA DE WARAQO (Echinopsis maximiliana)\*

#### PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : DELFIN LEON HANCCO  
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°: 286-22  
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente  
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 30/12/2022  
Fecha de ensayo : 30/12/2022  
Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG22000812	AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA MINA	Agua de Proceso - Agua Purificada	LUNAR DE ORO / RINCONADA / PUNO / PUNO	-14.623781 ; -69.449055	29/12/2022	12:30
Condiciones de recepción de la muestra						
Al ambiente						
Observación						
-						

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P. 19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(\* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<Valor numérico">=Límite de detección del método, ">Valor Numérico">=Límite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)



Validar el Informe  
VIA WEB





Laboratorios Analíticos del Sur

## Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE  
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Clave generada : 58495D21

### INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00459

Fecha de emisión: 6/01/2023

Página 2 de 3

#### RESULTADOS DE ENSAYO FÍSICO QUÍMICO

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	796		800		802							
		As	Hg	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca	Cd	Co	Cr	Cu
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG22000812	AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA MINA	0,0300	b<0,00041	0,0053	2,68	14,93	0,14896	b<0,000079	>250	b<0,00011	0,013298	0,00072	b<0,002

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802												
		Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO <sub>2</sub>
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG22000812	AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA MINA	0,057	>250	0,38934	0,1436	0,16828	b<0,00038	>250	0,03050	0,3034	b<0,0026	0,01821	b<0,002	10,47

Código Interno L.A.S.	Nombre de Muestra	802					
		Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG22000812	AGUA RESIDUAL TRATADA DE LA MINA	b<0,00085	1,410	b<0,00068	b<0,0013	0,00921	b<0,0031

Laboratorios Analíticos del Sur E.L.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P. 19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(\* ) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"s<Valor numérico"=Limite de detección del método, "b<Valor Numérico"=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582.



Validar el informe  
vía web



Laboratorios Analíticos del Sur

## Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR LA DIRECCIÓN DE  
ACREDITACIÓN DEL INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N°LE - 050

Clave generada : 58495D21

### INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-22-00459

Fecha de emisión: 6/01/2023

Página 3 de 3

#### MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
706	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Mercurio Total (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Metales Totales (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[ - 2.5] mg/L

<sup>a</sup> : Limite detección

<sup>b</sup> : Limite de cuantificación

----- Fin del informe -----

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Sixto Vicente Juárez Neira  
Gerente General  
Ing. Químico C.I.P.19474

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ambito de reconocimiento mutuo del os miembros firmantes de IAAC e ILAC"

(\* Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"<sup>a</sup><Valor numérico">=Limite de detección del método, "<sup>b</sup><Valor Numérico">=Limite de cuantificación del método

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>. Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582.

Validar el informe  
vía web

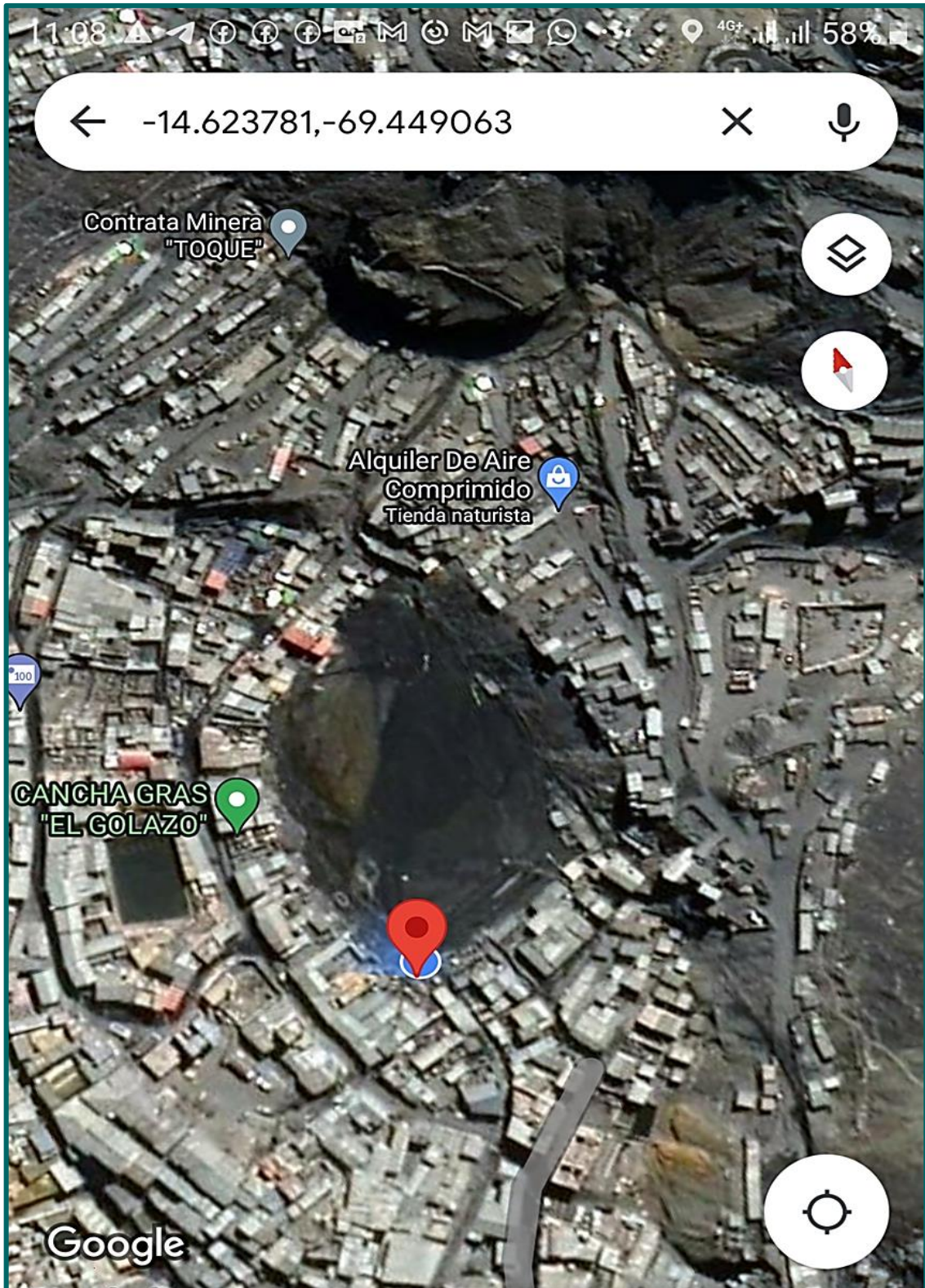


## 7.2. Resultados de análisis de agua residual después del tratamiento.



## ANEXO 8

### Mapa satelital de ubicación del lugar de muestreo (Lunar de Oro)



## ANEXO 9

### Normativa para la descarga de efluentes líquidos para actividad minero-metalúrgicas

424114

 **NORMAS LEGALES**

El Peruano

Lima, sábado 21 de agosto de 2010

la Ministra de Economía y Finanzas y por el Ministro de Transportes y Comunicaciones.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN  
Presidente del Consejo de Ministros

MERCEDES ARÁOZ FERNÁNDEZ  
Ministra de Economía y Finanzas

ENRIQUE CORNEJO RAMÍREZ  
Ministro de Transportes y Comunicaciones

533964-6

Autorizan viaje de funcionario de OSIPTEL a Colombia para participar en eventos organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

#### RESOLUCIÓN SUPREMA N° 194-2010-PCM

Lima, 20 de agosto de 2010

Vista, la Carta N° 816-GG.RI/2010 del Gerente General del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL; y,

#### CONSIDERANDO:

Que, por comunicación de fecha 27 de julio de 2010 la Asesora en Gestión y Desarrollo de Recursos Humanos del Centro de Excelencia para la Región Américas de la Oficina Regional de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT para las Américas ha invitado al Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL a participar en la "I Reunión del Comité Estratégico y de Calidad del Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT", así como en el "IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información en Telecomunicación - TIC en la Región Américas", a llevarse a cabo en la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 30 de agosto al 3 de setiembre de 2010;

Que, los mencionados eventos son organizados por el Centro de Excelencia de las Américas de la Unión Internacional de Telecomunicaciones y cuentan con la colaboración de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas de Colombia;

Que, las citadas reuniones congregarán a los expertos de la región de los organismos reguladores de telecomunicaciones y de las instituciones que forman parte de la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas de la UIT;

Que, en atención al prestigio internacional del OSIPTEL, este organismo ha sido reconocido e incorporado a la Red de Nodos del Centro de Excelencia de las Américas, habiéndose firmado para ello, el 3 de octubre de 2008, el Acuerdo de Participación de dicha Red de Nodos entre el OSIPTEL y la UIT;

Que, en el marco de este Acuerdo, el OSIPTEL y la UIT realizan actividades conjuntas con la finalidad de fortalecer las capacidades de los funcionarios del OSIPTEL, siendo la línea de contar con un mecanismo regional que fortalezca la capacidad de generar conocimiento y experiencia para el talento humano de más alto nivel de la Región Américas y contribuir a su capacitación y desarrollo;

Que, en el IV Foro Internacional Futuro de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la Región Américas se tratarán importantes temas del sector, tales como la participación empresarial necesaria para el aporte de las TIC al desarrollo social, las redes de bajo costo en la inclusión digital, las aplicaciones TIC en las Américas, la regulación de aplicaciones, contenidos y televisión digital;

Que, en este sentido, la participación en estos eventos permitirá obtener recursos y generar la posibilidad de capacitación a los funcionarios del OSIPTEL en políticas de telecomunicaciones, gestión o gerencia de telecomunicaciones, nuevas tecnologías, servicios de telecomunicaciones y regulación de las telecomunicaciones;

Que, el señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales además de ser el Gerente General del OSIPTEL es responsable de las coordinaciones con el Centro de Excelencia de las Américas de la UIT, por lo cual su participación permitirá un adecuado intercambio de experiencias e información sobre temas muy importantes para la regulación de los servicios públicos de telecomunicaciones y las políticas de capacitación y fortalecimiento de las capacidades de los recursos humanos del sector;

Que, la UIT asumirá los costos del pasaje aéreo del citado funcionario, correspondiendo asumir al OSIPTEL, con cargo a su presupuesto, los gastos por concepto de viáticos y tarifa única por uso de aeropuerto;

De conformidad con lo establecido por la Ley N° 27619, Ley que regula la autorización de viajes al exterior de funcionarios y servidores públicos del Poder Ejecutivo; su Reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N° 047-2002-PCM; la Ley N° 29289, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010; y el Reglamento de Organización y Funciones de la Presidencia del Consejo de Ministros, aprobado por el Decreto Supremo N° 063-2007-PCM; y,

Estando a lo acordado;

#### SE RESUELVE:

**Artículo 1°.-** Autorizar el viaje del señor Alejandro Gustavo Jiménez Morales, Gerente General del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones - OSIPTEL, a la ciudad de Bogotá, República de Colombia, del 29 de agosto al 4 de setiembre de 2010, para los fines expuestos en la parte considerativa de la presente resolución.

**Artículo 2°.-** Los gastos que irrogue el cumplimiento de la presente resolución se efectuarán con cargo al presupuesto del OSIPTEL, de acuerdo al siguiente detalle:

Tarifa Única por Uso de Aeropuerto	US\$	31,00
Viáticos	US\$	1 200,00

**Artículo 3°.-** Dentro de los quince (15) días calendario siguientes de efectuado el viaje, el referido funcionario deberá presentar a su institución un informe detallado describiendo las acciones realizadas, los resultados obtenidos y la rendición de cuentas por los viáticos entregados.

**Artículo 4°.-** La presente Resolución no otorga derecho a exoneración o liberación de impuestos aduaneros de ninguna clase o denominación.

**Artículo 5°.-** La presente Resolución Suprema será referendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN  
Presidente del Consejo de Ministros

533964-7

#### AMBIENTE

Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas

DECRETO SUPREMO  
N° 010-2010-MINAM

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA:





CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el artículo 32° de la Ley N° 28611 modificado por el Decreto Legislativo N° 1055, establece que la determinación del Límite Máximo Permissible - LMP, corresponde al Ministerio del Ambiente y su cumplimiento es exigible legalmente por éste y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, modificado por el Decreto Legislativo N° 1039, establece como función específica de dicho Ministerio elaborar los ECA y LMP, de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 011-96-EM-VMM, se aprobaron los niveles máximos permisibles para efluentes líquidos minero-metalúrgicos;

Que, el conocimiento actual de las condiciones de biodisponibilidad y biotoxicidad de los elementos que contiene los efluentes líquidos descargados al ambiente por acción antrópica y la forma en la que éstos pueden afectar los ecosistemas y la salud humana, concluyen que es necesario que los LMP se actualicen para las Actividades Minero-Metalúrgicas, a efecto que cumplan con los objetivos de protección ambiental;

Que, el Ministerio de Energía y Minas ha remitido una propuesta de actualización de LMP para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, la misma que fue publicada para consulta y discusión pública en el Diario Oficial El Peruano habiéndose recibido comentarios y observaciones que han sido debidamente meritados;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

**Artículo 1°.- Objeto**

Aprobar los Límites Máximos Permisibles - LMP, para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas de acuerdo a los valores que se indica en el Anexo 01 que forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

**Artículo 2°.- Ámbito de Aplicación**

El presente Decreto Supremo es aplicable a todas las actividades minero-metalúrgicas que se desarrollen dentro del territorio nacional.

**Artículo 3°.- Definiciones**

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos y definiciones:

**3.1 Autoridad Competente.-** Autoridad que ejerce las funciones de evaluación y aprobación de los instrumentos de gestión ambiental de la actividad minero-metalúrgica. En el caso de la gran y mediana minería dicha Autoridad Competente es el Ministerio de Energía y Minas, mientras que para la pequeña minería y minería artesanal son los Gobiernos Regionales.

**3.2 Efluente Líquido de Actividades Minero - Metalúrgicas.-** Es cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

a) Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el

desarrollo de actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte y cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de agua o energía, talleres, almacenes, vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público), y otros;

b) Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros;

c) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociado con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos;

d) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;

e) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y,

f) Cualquier combinación de los antes mencionados.

**3.3 Ente Fiscalizador.-** Autoridad que ejerce las funciones de fiscalización y sanción de la actividad minera-metalúrgica; para la gran y mediana minería será el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería - OSINERGMIN, hasta que el Organismo de Evaluación y Fiscalización del Ambiente - OEFA asuma dichas funciones, y para la pequeña minería y minería artesanal de los Gobiernos Regionales.

**3.4 Límite Máximo Permissible (LMP).-** Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental.

**3.5 Límite en cualquier momento.-** Valor del parámetro que no debe ser excedido en ningún momento. Para la aplicación de sanciones por incumplimiento del límite en cualquier momento, éste deberá ser verificado por el fiscalizador o la Autoridad Competente mediante un monitoreo realizado de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.

**3.6 Límite promedio anual.-** Valor del parámetro que no debe ser excedido por el promedio aritmético de todos los resultados de los monitoreos realizados durante los últimos doce meses previos a la fecha de referencia, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes y el Programa de Monitoreo.

**3.7. Monitoreo de Efluentes Líquidos.-** Evaluación sistemática y periódica de la calidad de un efluente en un Punto de Control determinado, mediante la medición de parámetros de campo, toma de muestras y análisis de las propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas de las mismas, de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes.


**3.8. Parámetro.-** Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas que define su calidad y que se encuentra regulado por el presente Decreto Supremo.

**3.9 Punto de Control de Efluentes Líquidos.-** Ubicación aprobada por la Autoridad Competente en la cual es obligatorio el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles.

**3.10. Programa de Monitoreo.-** Documento de cumplimiento obligatorio por el titular minero, contiene la ubicación de los puntos de control de efluentes y cuerpo receptor, los parámetros y frecuencias de monitoreo de cada punto para un determinado centro de actividades minero - metalúrgicas.

Es aprobado por la Autoridad Competente como parte de la Certificación Ambiental y puede ser modificado por ésta de oficio o a pedido de parte, a efectos de eliminar, agregar o modificar puntos de control del efluente y cuerpo

424116

 **NORMAS LEGALES**

El Peruano

Lima, sábado 21 de agosto de 2010

receptor, parámetros o frecuencias, siempre que exista el sustento técnico apropiado. El Ente Fiscalizador podrá recomendar las modificaciones que considere apropiadas a consecuencia de las acciones de fiscalización.

El Programa de Monitoreo considerará, además de los parámetros indicados en el presente anexo, los parámetros siguientes:

- a) Caudal
- b) Conductividad eléctrica
- c) Temperatura del efluente
- d) Turbiedad

La autoridad Competente podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

**3.11 Protocolo de Monitoreo.-** Norma aprobada por el Ministerio de Energía y Minas en coordinación con el Ministerio del Ambiente, en la que se indican los procedimientos que se deben seguir para el monitoreo del cuerpo receptor y de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. Sólo será considerado válido el monitoreo realizado de conformidad con este Protocolo, su cumplimiento es materia de fiscalización.

**3.12 Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP.-** Documento mediante el cual el Titular Minero justifica técnicamente la necesidad de un plazo de adecuación mayor al indicado, de acuerdo al artículo 4° numeral 4.2. del presente Decreto Supremo, el cual describe las acciones e inversiones que ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP. Este Plan se incorporará al correspondiente estudio ambiental y de ser el caso será parte de la actualización del plan de manejo ambiental señalada en el artículo 30° del Reglamento de la Ley N° 27446, aprobado por Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM.

**3.13 Titular Minero.-** Es la persona natural o jurídica que ejerce la actividad minera.

**Artículo 4°.- Cumplimiento de los LMP y plazo de adecuación**

4.1 El cumplimiento de los LMP que se aprueban por el presente dispositivo es de exigencia inmediata para las actividades minero - metalúrgicas en el territorio nacional cuyos estudios ambientales sean presentados con posterioridad a la fecha de la vigencia del presente Decreto Supremo.

4.2 Los titulares mineros que a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo cuenten con estudios ambientales aprobados, o se encuentren desarrollando actividades minero - metalúrgicas, deberán adecuar sus procesos, en el plazo máximo de veinte (20) meses contados a partir de la entrada en vigencia de este dispositivo, a efectos de cumplir con los LMP que se establecen.

Los titulares mineros que hayan presentado sus estudios ambientales con anterioridad a la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo y son aprobados con posterioridad a éste, computarán el plazo de adecuación a partir de la fecha de expedición de la Resolución que aprueba el Estudio Ambiental.

4.3 Sólo en los casos que requieran el diseño y puesta en operación de nueva infraestructura de tratamiento para el cumplimiento de los LMP, la Autoridad Competente podrá otorgar un plazo máximo de treinta y seis (36) meses contados a partir de la vigencia del presente Decreto Supremo, para lo cual el Titular Minero deberá presentar un Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, que describa las acciones e inversiones que se ejecutará para garantizar el cumplimiento de los LMP y justifique técnicamente la necesidad del mayor plazo.

El Plan en mención deberá ser presentado dentro de los seis (06) meses contados a partir de la entrada en vigencia del presente dispositivo.

Mediante Resolución Ministerial, el Ministerio de Energía y Minas aprobará los criterios y procedimientos para la evaluación de los Planes de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como los Términos de Referencia que determinen su contenido mínimo.

**Artículo 5°.- Prohibición de dilución o mezcla de Efluentes**

De acuerdo con lo previsto en el artículo 113° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, todo Titular Minero tiene el deber de minimizar sus impactos sobre las aguas naturales, para lo cual debe limitar su consumo de agua fresca a lo mínimo necesario.

No está permitido diluir el efluente líquido con agua fresca antes de su descarga a los cuerpos receptores con la finalidad de cumplir con los LMP establecidos en el artículo 1° del presente Decreto Supremo.

Asimismo, no está permitida la mezcla de efluentes líquidos domésticos e industriales, a menos que la ingeniería propuesta para el tratamiento o manejo de aguas, así lo exija, lo cual deberá ser justificado técnicamente por el Titular Minero y aprobado por la autoridad Competente.

**Artículo 6°.- Resultados del monitoreo**

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas, es responsable de la administración de la base de datos de monitoreo de efluentes líquidos y calidad de agua de todas las actividades minero - metalúrgicas; los titulares mineros están obligados a reportar a dicha Dirección General los resultados del monitoreo realizado. Asimismo, el Ente Fiscalizador deberá remitir a la citada Dirección General los resultados del monitoreo realizado como parte de sus actividades de fiscalización.

La Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros garantizará el acceso oportuno y eficiente a la base de datos al Ente Fiscalizador. Asimismo, deberá elaborar dentro de los primeros sesenta (60) días calendario de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo reportados por los titulares mineros durante el año anterior, el cual será remitido al Ministerio del Ambiente.

**Artículo 7°.- Fiscalización y Sanción**

La fiscalización y sanción por el incumplimiento de los LMP aprobados en el presente Decreto Supremo, así como de la ejecución del Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP está a cargo del Ente Fiscalizador, quien en el desarrollo de sus funciones, recurrirá, entre otros, a la base de datos de monitoreo ambiental administrada por la Dirección General de Asuntos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

**Artículo 8°.- Coordinación interinstitucional**

Si en el ejercicio de su función de fiscalización, supervisión y/o vigilancia, alguna autoridad toma conocimiento de la ocurrencia de alguna infracción ambiental relacionada al incumplimiento de los LMP aprobados por el presente dispositivo, y cuya sanción no es de su competencia, deberá informar al Ente Fiscalizador correspondiente o a la autoridad competente, adjuntando la documentación correspondiente.

**Artículo 9°.- Regímenes de Excepción**

De manera excepcional, la Autoridad Competente podrá exigir el cumplimiento de límites de descarga más rigurosos a los aprobados por el presente Decreto Supremo, cuando de la evaluación del correspondiente instrumento de gestión ambiental se concluya que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento del respectivo Estándar de Calidad Ambiental - ECA.

**Artículo 10°.- Refrendo**

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Energía y Minas.

#### DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

**Primera.-** El Ministerio de Energía y Minas, en coordinación con el Ministerio del Ambiente aprobará el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos en un plazo no mayor de doscientos cincuenta (250) días calendario contados a partir de su entrada en vigencia del presente Decreto Supremo.

**Segunda.-** En el plazo máximo de sesenta (60) días calendario contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio de Energía y





Minas aprobará los Términos de Referencia conforme a los cuales deba elaborarse el Plan de Implementación para el Cumplimiento de los LMP, así como el procedimiento de evaluación de dichos planes.

**Tercera.-** En el plazo de dos (02) años contados a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, el Ministerio del Ambiente en coordinación con el Ministerio de Energía y Minas evaluará la necesidad de establecer nuevos LMP para los siguientes parámetros:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno como nitratos
- Demanda Química de Oxígeno
- Aluminio
- Antimonio
- Manganeso
- Molibdeno
- Níquel
- Fenol
- Radio 226
- Selenio
- Sulfatos

Para tal efecto, el Ministerio de Energía y Minas dispondrá la modificación de los Programas de Monitoreo de las actividades mineras en curso de modo que se incluyan los parámetros aquí mencionados.

#### DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

**Única.-** Hasta la aprobación del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos se aplicará supletoriamente, el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua, aprobado por Resolución Directoral N° 004-94-EM/DGAA.

#### DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA DEROGATORIA

**Única.-** Deróguese la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM, salvo los artículos 7°, 9°, 10°, 11° y 12°, así como los Anexos 03, 04, 05 y 06, los cuales mantienen su vigencia hasta la aprobación y entrada en vigencia del Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes Líquidos.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los veinte días del mes de agosto del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ  
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG  
Ministro del Ambiente

PEDRO SÁNCHEZ GAMARRA  
Ministro de Energía y Minas

#### ANEXO 01

#### LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS

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

#### (\*) En muestra no filtrada

- Los valores indicados en la columna "Limite en cualquier momento" son aplicables a cualquier muestra colectada por el Titular Minero, el Ente Fiscalizador o la Autoridad Competente, siempre que el muestreo y análisis hayan sido realizados de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas; en este Protocolo se establecerán entre otros aspectos, los niveles de precisión, exactitud y límites de detección del método utilizado.

- Los valores indicados en la columna "Promedio anual" se aplican al promedio aritmético de todas las muestras colectadas durante el último año calendario previo a la fecha de referencia, incluyendo las muestras recolectadas por el Titular Minero y por el Ente Fiscalizador siempre que éstas hayan sido recolectadas y analizadas de conformidad con el Protocolo de Monitoreo de Aguas y Efluentes del Ministerio de Energía y Minas

533964-1

## COMERCIO EXTERIOR Y TURISMO

Autorizan viaje de representante de PROMPERÚ a la República Popular China para participar en la Feria "Asia Fruit Logística 2010"

#### RESOLUCIÓN SUPREMA N° 103-2010-MINCETUR

Lima, 20 de agosto de 2010

Visto el Oficio N° 301-2010-PROMPERU/SG, de la Secretaría General de la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERU.

#### CONSIDERANDO:

Que, la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERU, es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Comercio Exterior y Turismo, competente para proponer y ejecutar los planes y estrategias de promoción de bienes y servicios exportables, así como de turismo interno y receptivo, promoviendo y difundiendo la imagen del Perú en materia turística y de exportaciones;

Que, PROMPERU, conjuntamente con cuatro empresas agroexportadoras y cinco gremios exportadores nacionales, han programado su participación en la Feria "ASIA FRUIT LOGÍSTICA 2010", organizado por la empresa Messe Berlin GmbH, a realizarse en la ciudad de Hong Kong, República Popular China, del 8 al 10 de setiembre del 2010, con el objetivo de promover las exportaciones de frutas y hortalizas frescas en el mercado asiático, a fin de consolidar nuestra presencia como país abastecedor de frutas y hortalizas de calidad;

Que, la participación de PROMPERU en este evento permitirá evaluar la participación de las empresas peruanas exportadoras en dicho mercado, así como conocer los aspectos de la cadena de comercialización y distribución de frutas y hortalizas entre las ciudades chinas de Hong Kong y Guangzhou;

Que, la Secretaría General de PROMPERU ha solicitado que se autorice el viaje del señor Víctor Germán Sarabia Molina, quien presta servicios en dicha entidad, para que en representación de PROMPERU, participe en la referida feria, realizando acciones de promoción de las exportaciones de importancia para el país y coordinando cuanto se refiere a la instalación del stand peruano;

Que, la Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el Año Fiscal 2010, prohíbe los viajes al exterior con cargo a recursos públicos, salvo los casos excepcionales que la misma Ley señala, entre ellos, los viajes que se efectúen en el marco de las acciones de promoción de importancia para el Perú, los que deben realizarse en categoría económica y ser autorizados por Resolución Suprema;

De conformidad con el Decreto de Urgencia N° 001-2010, la Ley N° 27790, de Organización y Funciones del



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo DELFIN LEON HANCCO,  
identificado con DNI 80184560 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL,

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

"BIOSORCIÓN DE METALES PESADOS TOTALES DE AGUA RESIDUAL  
DE LA MINA LA RANCONADA CON BIOMASA DE  
WARAQO (Echinopsis Maximiliana)."

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de MAYO del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella





Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo DELFIN LEON HANCCO  
identificado con DNI 80184560 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN: SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" ADSORCIÓN DE METALES PESADOS TOTALES DE  
AGUA RESIDUAL DE LA MINA LA RINCONADA CON  
BIOASA DE WARAOO (*Echinopsis maximiliana*). "

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.


En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de MAYO del 2024

  
FIRMA (obligatoria)



Huella