

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA

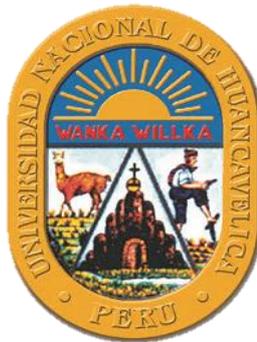
(Creada por la ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AMBIENTAL Y SANITARIA

TESIS



EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS METALES PESADOS MEDIANTE EL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL CON *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), PARA EL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS (DAM) EN LA BOCAMINA PODEROSA – HUACHOCOLPA, 2021

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

TECNOLOGÍA AMBIENTAL Y/O SANITARIA

PRESENTADO POR:

Bach. ALVAREZ MEZA, Ricardo

Bach. ESPINOZA HUAMANI, Max Lismer

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

HUANCAVELICA, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 28 días del mes de noviembre del año 2022, a horas 4:00 p.m., se reunieron los miembros del jurado calificador conformado de la siguiente manera:

PRESIDENTE : Mg. Henry Mauricio DÁVILA VICTORIA
<https://orcid.org/0000-0002-2763-9475>
 DNI N° 44114309

SECRETARIA : Dra. Teresa Jesús GONZALES HUAMÁN
<https://orcid.org/0000-0003-2945-3874>
 DNI N° 21453271

ASESOR : M.Sc. José Luis CONTRERAS PACO
<https://orcid.org/0000-0003-4591-3885>
 DNI N° 23276626

Designados con Resolución de Decano N° 296-2022-FCI-UNH, de fecha 07 de noviembre del 2022, a fin de proceder el acto académico de evaluación y calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS METALES PESADOS MEDIANTE EL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL CON *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), PARA EL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ACIDO DE MINAS (DAM) EN LA BOCAMINA PODEROSA-HUACHOCOLPA, 2021", presentado por los Bachilleres Ricardo ALVAREZ MEZA con DNI N° 71095129 y Max Lismer ESPINOZA HUAMANI con DNI N° 70353938, a fin de optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Sanitario; Finalizado la evaluación a horas 5:10 P.M.; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los jurados, se llegó al siguiente resultado:

Bach. Ricardo ALVAREZ MEZA

APROBADO POR... *Mayoría*.....

DESAPROBADO POR.....

Bach. Max Lismer ESPINOZA HUAMANI

APROBADO POR... *Mayoría*.....

DESAPROBADO POR.....

En señal de conformidad, firmamos a continuación:

 Presidente

 Secretaria

 Asesor

 Vº Bº Decano

Título

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS METALES PESADOS MEDIANTE EL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL CON *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), PARA EL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS (DAM) EN LA BOCAMINA PODEROSA – HUACHOCOLPA, 2021

Autores

Bach. Alvarez Meza, Ricardo

Bach. Espinoza Huamaní, Max Lismer

Asesor

M.Sc. CONTRERAS PACO, José Luis

Orcid <https://orcid.org/0000-0003-4591-3885>

DNI: 23276626

Agradecimiento

A Dios por resguardarnos y encaminarnos al éxito de hoy y al futuro.

A nuestros padres por el apoyo, confianza y amor incondicional durante nuestra superación y cumplimiento de metas.

A la universidad Nacional de Huancavelica por acogernos juntamente con sus especialistas en materias ambientales y sanitarias quienes nos compartieron sus conocimientos durante nuestra formación académica profesional.

Al M.Sc. José Luis Contreras Paco e Ingeniero James Curasma Ccente quienes nos orientaron, enseñaron y brindaron su tiempo durante la ejecución hasta completar el proyecto de investigación.

Tabla de contenido

Portada-----	i
Acta de sustentación-----	ii
Título -----	iii
Autores -----	iv
Asesor -----	v
Agradecimiento -----	vi
Tabla de contenido-----	vii
Tabla de contenidos de tablas -----	x
Tabla de contenidos de figuras-----	xi
Resumen-----	xiv
Abstract-----	xv
Introducción -----	xvi
CAPÍTULO I -----	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	18
1.1. Planteamiento de problema-----	18
1.2. Formulación de problema -----	21
1.2.1. Problema general-----	21
1.2.2. Problemas específicos -----	21
1.3. Objetivo -----	22
1.3.1. Objetivo general-----	22
1.3.2. Objetivos específicos -----	22
1.4. Justificación -----	23
1.4.1. Conveniencia -----	23
1.4.2. Teórica-----	23
1.4.3. Metodológica -----	24
1.4.4. Practica -----	24
1.4.5. Social -----	24
1.5. Limitaciones -----	25
CAPÍTULO II -----	26
MARCO TEÓRICO-----	26
2.1. Antecedentes -----	26

2.1.1.	A nivel internacionales -----	26
2.1.2.	A nivel nacional -----	29
2.1.3.	A nivel local -----	37
2.2.	Bases teóricas de la investigación -----	39
2.2.1.	Teoría general de sistemas -----	39
2.2.2.	Teoría de la difusión -----	41
2.2.3.	Teoría de la difusividad de líquidos -----	42
2.2.4.	Teoría de la cohesión-tensión -----	43
2.3.	Bases conceptuales -----	45
2.3.1.	Tratamiento por métodos pasivos de drenajes ácidos -----	45
2.3.2.	Sistema de humedales artificiales -----	47
2.3.2.1.	<i>Tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales</i> -----	48
2.3.3.	Sistemas de tratamiento para flujos superficiales -----	49
2.3.3.1.	<i>Humedales aerobios</i> -----	50
2.3.3.2.	<i>Humedales anaerobios o balsas orgánicas.</i> -----	53
2.3.4.	Planta fitodepuradora (Totora) -----	54
2.3.5.	Problemas ambientales de aguas ácidas -----	55
2.3.6.	Drenaje ácido de mina (DAM) -----	55
2.3.6.1.	<i>Mecanismos de formación de aguas ácidas</i> -----	56
2.3.6.2.	<i>Etapas en la formación de aguas ácidas</i> -----	57
2.3.7.	Toxicad de metales pesados -----	59
2.4.	Definición de términos -----	61
2.5.	Hipótesis -----	62
2.5.1.	Hipótesis general -----	62
2.5.2.	Hipótesis específicas -----	63
2.6.	Variables -----	64
2.6.1.	Variable independiente: -----	64
2.6.2.	Variable dependiente: -----	64
2.7.	Operacionalización de variables -----	65
CAPÍTULO III -----		66
MATERIALES Y MÉTODOS -----		66
3.1.	Ámbito temporal y espacial -----	66

3.1.1.	Ámbito temporal -----	66
3.1.2.	Ámbito espacial -----	66
3.2.	Tipo de investigación-----	67
3.3.	Nivel de investigación-----	68
3.4.	Método de investigación-----	68
3.5.	Población, Muestra, Muestreo -----	69
3.5.1.	Población -----	69
3.5.2.	Muestra -----	70
3.5.3.	Muestreo-----	70
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos -----	71
3.6.1.	Descripción del proceso de muestreo -----	71
3.6.2.	Descripción para la determinación del análisis de los parámetros de laboratorio. -----	73
3.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos -----	73
3.7.1.	Trabajo in situ -----	73
3.7.2.	Trabajo de laboratorio -----	73
3.7.3.	Análisis de datos -----	74
CAPÍTULO IV -----		75
DISCUSIÓN DE RESULTADOS -----		75
4.1.	Presentación y análisis de datos -----	75
4.2.	Principios de la investigación y prueba de hipótesis-----	99
4.3.	Discusión de resultados -----	121
4.3.1.	Eficiencia-----	121
Conclusiones-----		127
Recomendaciones-----		128
Referencias bibliográficas -----		129
Apéndice -----		134

Tabla de contenidos de tablas

Tabla 1 Operacionalización de Variables	65
Tabla 2 Técnicas e instrumentos	71
Tabla 3 Eficiencia de remoción del cobre (Cu)	78
Tabla 4 Eficiencia de remoción del plomo (Pb).....	79
Tabla 5 Eficiencia de remoción del zinc (Zn)	80
Tabla 6 Estadística descriptiva - parámetros fisicoquímicos	81
Tabla 7 Estadística descriptiva de los datos analizados	84
Tabla 8 Distribución de frecuencia de la temperatura (Afluente).....	86
Tabla 9 Distribución de frecuencia de la temperatura (Efluente)	87
Tabla 10 Distribución de frecuencia de la potencial de hidrogeno (Afluente)	88
Tabla 11 Distribución de frecuencia de la potencial de hidrogeno (Efluente).....	89
Tabla 12 Distribución de frecuencia de cobre en el Afluente	90
Tabla 13 Distribución de frecuencia de cobre en el efluente	91
Tabla 14 Distribución de frecuencia de plomo en el afluente.....	93
Tabla 15 Distribución de frecuencia de plomo en el efluente.....	94
Tabla 16 Distribución de frecuencia de zinc en el afluente	96
Tabla 17 Distribución de frecuencia de zinc en el efluente	97
Tabla 18 Test de normalidad para cobre en los sistemas de humedales artificiales	100
Tabla 19 Test de normalidad para plomo en los sistemas de humedales artificiales	101
Tabla 20 Test de normalidad para zinc en los sistemas de humedales artificiales ..	102
Tabla 21 Prueba T de Student para una proporción – remoción del Cobre (Cu).....	107
Tabla 22 Prueba T de Student para una proporción – remoción de Plomo (Pb).....	109
Tabla 23 Prueba T de Student para una proporción – remoción de Zinc (Zn).....	110
Tabla 24 Prueba T de Student - pH con LMPs	113
Tabla 25 Prueba T de Student - remoción de Cobre (Cu) con LMP.....	114
Tabla 26 Prueba T de Student -remoción de Plomo (Pb) con LMP.....	116
Tabla 27 Prueba T de Student - remoción de Zinc (Zn) con LMP	117
Tabla 28 Matriz de consistencia.....	135

Tabla de contenidos de figuras

Figura 1 La absorción y transporte de agua en las plantas.....	44
Figura 2 Rango óptimo de aplicación de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas	46
Figura 3 Disposición de las celdas y circulaciones del agua en un humedal aerobio	51
Figura 4 Variables que se consideran en el diseño en un humedal	51
Figura 5 Procesos de oxidación – reducción inducidos por la actividad bacteriana y las plantas en humedales.....	53
Figura 6 Disposición de las capas en un humedal anaerobio.....	54
Figura 7 Formación de aguas ácidas de mina	56
Figura 8 Etapas en la formación de aguas ácidas.....	58
Figura 9 Ámbito espacial del proyecto de investigación	67
Figura 10 Lavado de botellas y aplicaciones de solución preservante.....	71
Figura 11 Comparación de Ph del drenaje ácido de minas (DAM) tratado y LMP...	82
Figura 12 Comparación de Cu del drenaje ácido de minas (DAM) tratado y LMP ..	82
Figura 13 Comparación de Pb del drenaje ácido de minas (DAM) tratado y LMP...	83
Figura 14 Comparación de Zn del drenaje ácido de minas (DAM) tratado y LMP ..	83
Figura 15 Histograma de frecuencia de la temperatura afluente.....	86
Figura 16 Histograma de frecuencia de la temperatura efluente.....	87
Figura 17 Histograma de frecuencia de la potencial de hidrogeno (Afluente)	89
Figura 18 Histograma de frecuencia de la potencial de hidrogeno (Efluente).....	90
Figura 19 Histograma de frecuencia de cobre en el afluente	91
Figura 20 Histograma de frecuencia de cobre en el efluente	92
Figura 21 Histograma de frecuencia de plomo en el afluente.....	94
Figura 22 Histograma de frecuencia de plomo en el efluente.....	95
Figura 23 Histograma de frecuencia de zinc en el afluente	97
Figura 24 Histograma de frecuencia de zinc en el efluente	98
Figura 25 Test de normalidad de cobre en el sistema de humedales artificiales cuantiles normales	100
Figura 26 Test de normalidad de plomo en el sistema de humedales artificiales cuantiles normales	101

Figura 27 Test de normalidad de zinc en el sistema de humedales artificiales cuantiles normales	102
Figura 28 Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula (Ho), en términos de la remoción de Cobre (Cu)	108
Figura 29 Valores críticos “t” para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, en remoción de Plomo (Pb).....	110
Figura 30 Valores críticos “t” para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, en remoción de Zinc (Zn)	112
Figura 31 Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, para el potencial de hidrogeno (pH)	114
Figura 32 Valores críticos “t” para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, para la remoción de Cobre (Cu).....	115
Figura 33 Valores críticos “t” para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, para la remoción de Plomo (Pb).....	116
Figura 34 <i>Valores críticos “t” para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, para la remoción de Zinc (Zn).</i>	117
Figura 35 Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividad minero - metalúrgicas	137
Figura 36 Formato – hoja de custodia.....	138
Figura 37Etiqueta de muestreo del drenaje acido de mina	138
Figura 38 Formato de recolección de datos para parámetros de campo	139
Figura 39 Hoja de custodia - 1er monitoreo.....	140
Figura 40 Hoja de custodia - 2do monitoreo.....	140
Figura 41 Hoja de custodia - 3er monitoreo.....	141
Figura 42 Hoja de custodia - 4to monitoreo.....	141
Figura 43 Hoja de custodia - 5to monitoreo.....	142
Figura 44 Hoja de custodia - 6to monitoreo.....	142
Figura 45 Hoja de custodia - 7mo monitoreo.....	143
Figura 46 Hoja de custodia - 8vo monitoreo.....	143
Figura 47 Hoja de custodia - 9no monitoreo.....	144
Figura 48 Hoja de custodia - 10mo monitoreo.....	144
Figura 49 Hoja de custodia - 11vo monitoreo.....	145

Figura 50 Hoja de custodia - 12avo monitoreo	145
Figura 51 Hoja de custodia - 13avo monitoreo	146
Figura 52 <i>Hoja de custodia - 14avo monitoreo</i>	146
Figura 53 <i>Hoja de custodia - 15avo monitoreo</i>	147
Figura 54 <i>Hoja de custodia - 16avo monitoreo</i>	147
Figura 55 <i>Hoja de custodia - 17avo monitoreo</i>	148
Figura 56 <i>Hoja de custodia - 18avo monitoreo</i>	148
Figura 57 <i>Hoja de custodia - 19avo monitoreo</i>	149
Figura 58 <i>Hoja de custodia - 20avo monitoreo</i>	149
Figura 59 <i>Formato de recolección de datos del DAM</i>	150
Figura 60 <i>Informe de ensayo preliminar de los parámetros químicos</i>	151
Figura 61 <i>Informe de ensayo de los parámetros químicos</i>	152

Resumen

El presente trabajo “EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS METALES PESADOS MEDIANTE EL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL CON *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), PARA EL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS (DAM) EN LA BOCAMINA PODEROSA – HUACHOCOLPA, 2021”. Se determinó la eficiencia de remoción de los metales pesados (Cu, Pb, Zn) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM). La investigación es aplicada, nivel explicativo y el método científico; la población de estudio es el efluente del drenaje ácido de mina (DAM) de la bocamina Poderosa, la muestra tanto el afluente como el efluente del humedal artificial, el muestreo fue no probabilístico del tipo intencional, los instrumentos para recolectar datos son: Espectrofotómetro de absorción atómica y el multiparámetro. Obteniendo las siguientes remociones: 57.12 % Cu, 53.93% Pb, 57.73% Zn y 8.40% pH respectivamente. En cuanto a la comparativa que se realiza con el D.S. 010 2010 MINAM la media del efluente fueron: 120.36 mg/l Cu, 0.22 mg/l Pb, 1057.58 mg/l Zn y 4.01 pH. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye de manera general que se logró determinar que el sistema de humedales artificiales de flujo superficial, muestran una eficiencia en cuanto a la remoción de metales pesados para el tratamiento del drenaje ácido de minas y también logramos la comparativa con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles en el cual no se logró cumplir para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Palabras clave: *Eficiencia de remoción, drenaje ácido de mina, humedal artificial, metales pesados, LMP.*

Abstract

The present work "EFFICIENCY OF REMOVAL OF HEAVY METALS THROUGH THE SURFACE FLOW ARTIFICIAL WETLAND SYSTEM WITH *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), FOR THE TREATMENT OF ACID MINE DRAINAGE (AMD) IN LA BOCAMINA PODEROSA - HUACHOCOLPA, 2021". The removal efficiency of heavy metals (Cu, Pb, Zn) was determined by means of the artificial wetland system of surface flow with *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), for the treatment of acid mine drainage (AMD). The research is applied, explanatory level and the scientific method; the study population is the effluent of the acid mine drainage (AMD) of the Poderosa mouth, the sample is both the effluent and the effluent of the artificial wetland, the sampling was non-probabilistic of the intentional type, the instruments to collect data are: Spectrophotometer of atomic absorption and the multiparameter. Obtaining the following removals: 57.12% Cu, 53.93% Pb, 57.73% Zn and 8.40% pH, respectively. As for the comparison made with the D.S. 010 2010 MINAM the average of the effluent were: 120.36 mg/l Cu, 0.22 mg/l Pb, 1057.58 mg/l Zn and 4.01 pH. According to the results obtained, it is concluded in a general way that it was possible to determine that the system of artificial wetlands of surface flow, show an efficiency in terms of the removal of heavy metals for the treatment of acid mine drainage and we also achieved the comparison with Supreme Decree No. 010-2010-MINAM, maximum permissible limits in which it was not possible to comply with for the discharge of liquid effluents from mining - metallurgical activities, for the treatment of acid mine drainage (AMD) in the mouth of Poderosa - Huachocolpa - 2021

Keywords: *Removal efficiency, acid mine drainage, artificial wetland, heavy metals, LMP.*

Introducción

La actividad minera favorece con el crecimiento económico, crea empleo directo e indirecto y genera rentas para la sociedad, donde las materias primas se pueden negociar a precios spot y a precios futuros en los mercados financieros internacionales, siendo las principales plazas bursátiles Reino Unido, Estados Unidos y China (Osinergmin, 2017).

A partir de actividad minera se puede ver el drenaje ácido de mina las cuales ocasionan grandes problemas ambientales debido al alto potencial de contaminación de los recursos hídricos superficiales o subterráneos, en Brasil el drenaje constituye uno de los mayores problemas ambientales en las regiones del sur (Santa Catarina y Rio Grande do Sul), entre las principales características del DAM pueden ser citados: bajos valores de pH, elevadas concentraciones de iones sulfato e iones metálicos (Fe, Al, Zn y Mn, principalmente), (Cadorin, Carissimi, & Rubio, 2007).

Perú es el segundo productor de plata, cobre y zinc a nivel mundial como también el primer productor de oro, zinc, estaño, plomo y molibdeno en América Latina donde la cordillera de los Andes es la columna vertebral de Perú y la principal fuente de depósitos minerales del mundo (Minas, 2020).

En el 2015, la economía peruana se consolidó como una de las más dinámicas en la región, lo que le permitió ubicarse en el segundo lugar después de Panamá en el ranking de los países hispanoamericanos con las mayores tasas de crecimiento económico en los primeros 15 años de este milenio este crecimiento fue especialmente al sector de la minería, la cual alcanzó un volumen de producción de 1.7 millones de toneladas métricas finas (UMF) reflejándose en un crecimiento de 22.36% respecto al año 2014, este incremento se debió principalmente al incremento en la extracción de plata en las regiones Lima, Ancash, Pasco y del oro en las regiones Áncash, Madre de Dios y Cusco (Cornejo, 2016).

La ciudad de Huancavelica cuenta con una actividad minera de pequeña y mediana escala. Figura como productor de plata (séptimo lugar a nivel nacional), plomo (octavo productor), zinc (noveno productor), entre otros minerales (CooperAcción, Fedepaz, & Grufides, 2018).

La actividad económica de minería en Huancavelica es la que mayor desarrollo ha alcanzado en el departamento, de este modo se conserva la tradición que le dio renombre durante la Colonia con la explotación de las minas de azogue o mercurio de Santa Bárbara, así como las minas de plata (Huancavelica, 2020).

El departamento de Huancavelica tiene grandes reservas de minerales debido a su estructura geológica donde existen extensas formaciones volcánicas y áreas con rocas sedimentarias de naturaleza calcárea, que se levantaron desde los fondos marinos, en ambas clases de rocas se encuentran las vetas o filones de plata, oro, mercurio, cobre, cadmio, bismuto, plomo, zinc, sal y yeso (Huancavelica, 2020).

Los principales centros mineros son: Julcani, en la provincia de Angaraes; Huachocolpa, en la provincia de Huancavelica; y Cobriza donde se explota el cobre, en la provincia de Churcampa, en pleno pongo del Mantaro; los dos primeros son complejos mineros en donde coexisten grandes, medianas y pequeñas empresas donde estas minas son en galerías, es decir túneles horizontales, verticales o inclinados según la dirección de las vetas (Huancavelica, 2020).

La Unidad Económica Administrativa (UEA) Huachocolpa, viene tratando las aguas residuales industriales a través de la planta de Neutralización y Coagulación Dinámica (NCD). En estado activo, teniendo un costo elevado en cuanto a su operación, mantenimiento y manejo para el tratamiento de sus aguas ácidas. La pregunta central del presente trabajo es ¿Cuál será la eficiencia del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento de problema

En el mundo se siguen presentado muchos casos de contaminación ambiental por drenaje ácido minero, donde los más documentados proceden de EUA y Canadá, este problema sobresalta también numerosos estados de Sudamérica, África, Europa, Australia y en general allí donde se produce una alta actividad minera en yacimientos con presencia de sulfuros. (Zevallos, 2016).

Los drenajes ácidos de mina DAM, provoca mayores problemas ambientales producto de la industria minera y también su principal pasivo, donde el DAM son particularmente nocivos para los suelos y las corrientes de agua, “Una mina generadora de DAM tiene el potencial para causar un impacto devastador a largo plazo en los ríos y vida acuática, volviéndose en efecto, una máquina de contaminación permanente” (Peña & Pérez, 2009).

El drenaje ácido de mina (DAM) es subproducto inevitable de la minería y la industria mineral el cual es generalmente caracterizado por altas concentraciones de metales pesados disueltos, sulfatos y bajos niveles de pH y es una fuente de contaminación de aguas en la industria minera de carbón y metal en todo el mundo según (Somerset, 2005).

La minería moderna en el Perú contempla la evaluación de posibles impactos ambientales y las medidas de prevención, mitigación y contingencia en todas las actividades de construcción, operación y cierre de la mina; sin embargo, la generación del agua ácida de mina ha sido, es y será un problema ambiental preocupante (Rodríguez C. , 2018).

Actualmente el Perú es un país minero, que contribuye el desarrollo del país y es uno de los principales motores económicos a nivel mundial, Sin embargo, las actividades mineras generan impactos positivos y negativos, ya que alteran la calidad del agua, suelo, aire y otros componentes ambientales, poniendo en peligro a la población cercana, así como a la flora y fauna (Torres & Armando, 2013).

Los principales impactos negativos de los drenajes ácidos de minas en el recurso hídrico son la pérdida de biodiversidad, la perturbación del crecimiento de la vida acuática, la contaminación de los acuíferos como también del suelo, el aumento de la capacidad de dilución de metales pesados, hace que se ejerza una influencia negativa en el ciclo natural (Rumjit & Thomas, 2017).

El drenaje ácido de minas (DAM) ocasiona grandes problemas ambientales debido al alto potencial de contaminación en nuestro país representa uno de los mayores problemas ambientales, específicamente en la región Huancavelica, donde las principales características del DAM de este lugar podemos citar: los bajos valores de pH, elevadas concentraciones de iones metálicos (Fe, Al, Zn y Mn, principalmente) (Huiza & Orellana, 2015).

La actividad minera en el Perú afecta los sistemas ecológicos y el medio ambiente es posible debido al poder de las empresas y a la debilidad y complicidad del estado, sin embargo, uno de los objetivos de esta investigación es contribuir al conocimiento de un problema nacional, que es la contaminación ambiental a partir de un caso concreto: el derrame de relaves en la mina Caudalosa Chica, donde los temas centrales desarrollados abarcan la

descripción de los hechos, causas, daños ocasionados, sanciones, impunidad ambiental, etc. (Pinto, 2010).

La dirección de supervisión en el marco de un procedimiento de supervisión a la unidad fiscalizable Huachocolpa Uno de titularidad de compañía minera Kolpa S.A. en mérito al plan anual de evaluación ambiental (PLANEFA-2018), y a fin de verificar el cumplimiento de las obligaciones ambientales contenidas o disposiciones emitidas por los órganos competentes del OEFA. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2018)

Durante la acción de supervisión de abril y octubre del 2018, se evidenciaron los siguientes hechos:

Bocamina – 4383.- Se encontraba sellada por un muro de mampostería; en su base existía una berma que contenía el drenaje, a travez de la cual mediante el tubo HDPE y una abertura en un externo, descarga el drenaje hacia el canal de derivación del rio Escalera.

Bocamina – 4613.- Se encontraba abierta y presenta drenaje el cual se infiltraba en el área con vegetación aledaña a la bocamina.

Bocamina – 4555.- Presenta una reja de madera y malla metálica. Presentaba drenaje el cual era conducido a través de un canal de concreto hasta una caja del mismo material; posteriormente, el drenaje era transportado a travez de una tubería corrugada la cual en un tramo se encontraba desacoplada, haciendo que el drenaje discurra por el área aledaña a la misma hasta juntarse con una quebrada, la cual se dirige hacia el rio Escalera.

Bocamina – 4513.- Se encontraba abierta y presentaba una reja de madera. Se observó la existencia de drenaje el cual era conducido por dos tuberías de HDPE, una de ellas iba a tratamiento, mientras que la otra descargaba en un área cercana a la bocamina; dicho drenaje llegaba hacia un área con vegetales propia de un bofedal.

(Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2018)

1.2. Formulación de problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la eficiencia de remoción del cobre (Cu) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?
- ¿Cuál será la eficiencia de remoción del plomo (Pb) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?
- ¿Cuál será la eficiencia de remoción del zinc (Zn) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?
- ¿Cuál será la calidad de los parámetros físicos y químicos en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?

1.3. Objetivo

1.3.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la eficiencia de remoción del cobre (Cu) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- Determinar la eficiencia de remoción del plomo (Pb) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- Determinar la eficiencia de remoción del zinc (Zn) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- Evaluar la calidad de los parámetros físicos y químicos en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.

1.4. Justificación

1.4.1. Conveniencia

El presente trabajo de investigación busca una alternativa de tratamiento del drenaje ácido de mina de la bocamina Poderosa, donde se pretende obtener una eficiencia en la remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial, a sí mismo se considera este método pasivo es amigable con el medio ambiente; Por ende, es necesario conocer la eficiencia del sistema para el tratamiento a fin de mejorar las condiciones de calidad de estos pasivos ambientales mineros.

Debido a ello la presente investigación consiste en determinar la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM) en la bocamina Poderosa, ya que en la actualidad no cuenta con este tipo de tratamiento pasivo. En donde el sistema de humedales artificiales es una tecnología ecológica, económica y ambientalmente sostenible donde nos ayuda a minimizar y reducir impactos ambientales negativos.

1.4.2. Teórica

Al determinar la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales beneficiara a las empresas a poder considerarlas como una nueva forma de tratamiento de su DAM; ya que estos se realizan a costos bajos en comparación con los sistema actuales que implementan las unidades mineras, por ende ayudara a tener una responsabilidad ambiental que es lo que se quiere; además la información encontrada servirá como antecedente para próximas investigaciones realizadas en esta área.

1.4.3. Metodológica

Al emplear las plantas naturales de la zona para el tratamiento de aguas acidas, se analizará si el sistema biológico es eficiente con respecto a la remoción de metales pesados. Existe a nivel nacional poca aplicación de estos sistemas al tratamiento; lo cual hace interesante que a partir de la información encontrada a nivel internacional y nacional podríamos ejecutarlo por medio de un estudio experimental; a través de un sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA). Esto llevaría a evitar posibles impactos ambientales negativos y evitar conflictos socio-ambientales. De esta manera tener una buena relación entre la sociedad, medio ambiente y la empresa.

1.4.4. Practica

Al implementar un tratamiento pasivo para las aguas ácidas de mina es muy importante que el sistema que se desea implementar se realice en base a investigaciones, porque este tipo de sistemas son influenciados mayormente por las condiciones climáticas de la zona y/o principalmente las características fisicoquímicas del afluente , ya que estos aspectos nos ayudará a definir un sistema conveniente para su adaptación y eficiencia de tratamiento; donde es considerado como alternativa económica para la ejecución de este tipo de proyectos.

1.4.5. Social

Con el proyecto de investigación se pretende reducir los impactos negativos que ocasionan los drenajes ácidos proveniente de la bocamina Poderosa; la cual afecta principalmente el sistema acuático del rio escalera como también a la población de la zona aledaña quienes se dedican a las actividades de la ganadería y agricultura las cuales se encuentran aguas abajo.

1.5. Limitaciones

El presente trabajo de investigación se realizó en la bocamina Poderosa en el distrito de Huachocolpa, provincia de Huancavelica donde la investigación se encuentra en un espacio geográfico alejado a la localidad dificultándonos en el traslado de materiales, monitoreos y acceso al lugar, donde implica una considerable inversión económica, siendo la investigación autofinanciada.

Poder realizar mayor control con monitoreos en momentos de la adaptación de nuestra especie durante los meses de noviembre hasta febrero del 2022.

No se encontraron antecedentes realizados dentro del distrito de Huachocolpa o en lugares con características y condiciones similares como: efluentes (pH, concentración de metales pesados), factores climáticos, edafológicos, adaptación de especies.

Con la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad Nacional de Huancavelica tuvimos limitaciones con los trabajos en laboratorio al no contar con equipos especializado en análisis de la especie usada para poder determinar el grado de saturación, la concentración de remoción de estos, etc.

La emergencia sanitaria covid-19 retardo la ejecución del proyecto según el cronograma establecido inicialmente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. A nivel internacionales

Jaramillo & Contreras (2019) realizaron la investigación “Tratamiento del drenaje ácido de minas carbón mediante humedales artificiales - caso de estudio quebrada el Chocho en el corregimiento de Montebello Cali”, el presente estudio se investigó el desempeño de los humedales artificiales para el control de la acidez generada en la quebrada el Chocho por los drenajes de la minería de carbón en el corregimiento de Montebello, Cali; para este estudio se implementaron 2 humedales artificiales verticales (H1) y (H3) a escala piloto ubicados en línea, el sistema se encontraba en las instalaciones de la Universidad Autónoma de Occidente en la zona de la planta de tratamiento de agua residual de la misma Universidad; la muestra del drenaje ácido de minas se recolectó de uno de los sitios de contaminación y se transportó a la Universidad Autónoma de Occidente donde se utilizaron las especies *Cyperus alternifolius* y *Cyperus papyrus*; en cuanto al crecimiento de las plantas la especie *Cyperus papyrus* se desarrolló más rápidamente con respecto a *Cyperus alternifolius* que también se reprodujo y floreció con el tiempo, las dos especies brotaron masivamente alrededor de la primera planta sembrada,

adaptándose con facilidad al riego del drenaje ácido; las especies seleccionadas redujeron la acidez de forma satisfactoria, se evidencia el aumento del pH desde 2,6 a 6,2 unidades después que sale como efluente de los dos humedales artificiales en línea donde el hierro se disminuye en gran proporción, desde 1675 mg/L a 420 mg/L, la DBO5 aumenta en un rango de 133,8 mg/L a 180 mg/L al igual que el oxígeno disuelto aumenta de 4,89 mg/L a 5,07 mg/L en el fluente final la DQO disminuye al igual que la conductividad en promedio de 279,73 mg/L a 142,73 mg/L; aunque no disminuyó en gran cantidad, los sólidos disueltos totales se redujeron de 3,5 g/L a 3 g/L y la salinidad de 3,6 a 3,1 partes por mil en promedio y los niveles de Manganese no se redujeron y contrariamente se incrementaron al salir de los dos humedales en línea.

Pat-Espadas, Loredo, Amabilis-Sosa, Gómez, & Vidal (2018) realizaron la investigación “Review of Constructed Wetlands for Acid Mine Drainage Treatment”, la industria minera es la principal productora de drenaje ácido de mina (AMD). El problema de las preocupaciones de AMD en los sitios mineros activos y abandonados; el drenaje ácido de la mina debe tratarse ya que puede contaminar las aguas superficiales; los humedales construidos (CW), una tecnología de tratamiento pasivo, combina procesos biogeoquímicos, geoquímicos y físicos que ocurren naturalmente, esta tecnología se puede utilizar para la remediación a largo plazo de AMD. El desafío es superar algunos factores, por ejemplo, las características químicas de AMD, como una alta acidez y concentraciones de metales tóxicos, para lograr sistemas CW eficientes y se deben considerar criterios de diseño, arreglos conformacionales y una selección cuidadosa de cada componente para lograr el tratamiento; El objetivo principal de esta revisión es resumir los avances actuales, aplicaciones, y las dificultades y oportunidades predominantes para aplicar la tecnología CW para el tratamiento de AMD de acuerdo con la literatura citada, los sistemas CW subsuperficiales (SS-CW) se sugieren para un tratamiento eficiente de AMD. Las interacciones sinérgicas entre los componentes de CW determinan la eliminación de metales pesados de la solución acuosa donde la interacción microorganismo - planta se

considera la más importante ya que implica mecanismos de simbiosis para la eliminación y tolerancia de metales pesados y a si mismo la formación de capas de hojarasca y biopelículas contribuye a la eliminación de metales pesados mediante mecanismos de adsorción. La adición de enmiendas orgánicas al material del sustrato y la inoculación del consorcio bacteriano AMD son algunas de las estrategias para mejorar la eliminación de metales pesados. Es necesario utilizar un diseño experimental adecuado desde el laboratorio hasta los sistemas a gran escala para optimizar los equilibrios entre la selección de componentes CW y los costos de construcción y operación. La principal limitación para el tratamiento de la AMD con CW es el efecto de toxicidad que los metales pesados producen en las plantas y microorganismos CW. Sin embargo, estos aspectos pueden resolverse parcialmente eligiendo componentes de humedales cuidadosamente construidos y adecuados para las características de AMD. Desde el punto de vista económico, una variedad de factores afectan el costo de los humedales construidos, tales como: tiempo de detención, objetivos de tratamiento, tipo de medio, tipo de pretratamiento, número de celdas, fuente y disponibilidad de medio de grava y requisitos de tierra, entre otros.

(Chaparro, 2015) en su revista ambiental “Drenajes ácidos de mina formación y manejo”, el presente artículo describe los drenajes ácidos de mina o de roca como una de las principales problemáticas ambientales que generan los trabajos mineros en los ámbitos nacional e internacional, donde se da a conocer diariamente, su formación, sus principales impactos y el manejo adecuado que se debe hacer de ellos para evitar su generación o para efectuar su remediación y tratamiento en los casos donde ya existen, adicionalmente se enuncian algunas posibilidades económicas que pueden tener los subproductos del tratamiento de los DAM para intentar transformar un pasivo ambiental en una oportunidad económica, en las situaciones donde problema es irreversible.

Cruz (2015) realizo la investigación “Tratamientos pasivos aplicados a drenajes ácidos de mina”, La minería como una de las principales fuentes

económicas y de obtención de materias primas en el mundo, ha sufrido a través del tiempo grandes modificaciones enfocadas en la optimización de la extracción del mineral. Sin embargo, poca atención se ha dado al incremento el aumento de los problemas ambientales asociados a esta actividad. Entre los principales efluentes contaminantes de la actividad minera se encuentran los drenajes ácidos de mina (DAM). Estos subproductos de la explotación minera, aún en el caso de minas clausuradas, siguen generando impactos al medio ambiente debido a la falta de gestión y control por motivos técnicos y económicos. Dentro de las opciones para el tratamiento de los DAM se encuentran los sistemas pasivos, que según numerosos estudios han demostrado su efectividad en la mitigación de su impacto ambiental con costos económicos y operacionales más bajos que los sistemas convencionales. La siguiente monografía se enfoca en identificar y analizar los principales sistemas pasivos para el tratamiento de DAM, con el propósito de que pueda servir como material de consulta para incentivar la investigación de alternativas viables para la solución de estos contaminantes ambientales que azotan nuestra región. Debido a los diversos problemas de tipo ambiental que causan los DAM, hoy en día se han realizado numerosos estudios con el ánimo de buscar soluciones eficientes para el tratamiento de estos; según datos obtenidos en la base de datos WEB OF SCIENCE desde el año 2008 se ha incrementado el número de referencias y de artículos científicos, llegando a más 4000 citaciones y 300 publicaciones en el año 2014.

2.1.2. A nivel nacional

Trujillo (2022) realizó la investigación “Optimización de la remoción de hierro del drenaje ácido de mina del pasivo ambiental minero de Mesapata, Recuay- Áncash, 2020-2021”, el presente trabajo de investigación tuvo por objetivo optimizar la remoción del hierro del Drenaje Ácido de Mina del Pasivo Ambiental Minero de Mesapata; el desarrollo de la investigación se dividió en tres etapas: En la etapa preexperimental se acondicionó el lugar de trabajo, se muestrearon comunidades de Bacterias Oxidadoras de Hierro (BOFe) de

Pastoruri, Mesapata y Campanayoc; y, se recolectó el DAM del lado norte del PAM de Mesapata. La etapa experimental consistió en optimizar la remoción de Fe⁺² mediante tratamientos abióticos (pH, O₂ y O₃) y bióticos (BOFe); y, en la etapa post-experimental se realizó el análisis de las eficiencias de remoción de Fe⁺² para la elección de las alternativas óptimas de tratamiento. Los resultados mostraron que, el pH óptimo para la remoción de hierro varió entre 4.52 y 5.61, poseyendo eficiencias de remoción de hierro de 94.6% y 99.9%, respectivamente. Por otro lado, la oxigenación (1 L/min) y ozonización (2.15 L/min) para la remoción de Fe⁺², son dependientes del pH, puesto que no oxidan al Fe⁺² a pHs muy ácidos (2.32), por lo que antes de la inyección de O₂ y O₃ debe añadirse un neutralizante. De acuerdo a ello, se realizó la inyección por separado de O₂ y O₃ a 3 L de DAM a pH 4.0 y 5.5, los resultados demostraron que los tiempos de oxigenación óptimos se encuentran entre la 1 y 1.5 horas en DAM a pH 5.50, con eficiencia de remoción de Fe⁺² de 65.0% y 80.8%. Así mismo, el tiempo de ozonización óptimo se encuentra entre los 5 y 11 minutos para DAM a pH 5.5 con eficiencias de remoción de Fe⁺² de 71.3% y 72.0%. Para el caso del tratamiento biótico con BOFe, se observó que las bacterias provenientes de zonas con DAM y DAR con concentraciones mayores de 16 mg/L y pHs ácidos (2.56) tuvieron mejor crecimiento en Medio 9K Mod.; conservándose en total 17 cepas a pH 3 y 4. Por otro lado, las bacterias inoculadas (consorcio) en los sistemas Aquarium-Fe con DAM de 400 mg/L, 600 mg/L y 800 mg/L de Fe⁺² y pH 2.56 – 4; obtuvieron eficiencias muy altas de remoción de Fe⁺², al día 49 se observaron que en condiciones de aerobiosis las eficiencias de remoción fueron de 44%, 50%, 78% y en condiciones de microaerofilia fueron de 63%, 63% y 80%, respectivamente. En tal sentido, hay mayor eficiencia de remoción de Fe⁺² en condiciones de microaerofilia, pH ácido y altas conentraciones de Fe⁺². En conclusión, es posible optimizar la remoción de Fe⁺² del DAM del PAM de Mesapata con tratamientos abióticos (pH, O₂ y O₃) y bióticos (BOFe), teniendo en cuenta la sinergia con el pH.

Sucari (2022) realizó la investigación “Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando *scirpus californicus* (tatora) y *festuca dolichophylla* (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín”, tiene como objetivo de evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados presentes en los efluentes mineros a través de la aplicación de humedales artificiales utilizando *Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla* en el distrito de Morococha, el trabajo consistió en la instalación de dos humedales con el mismo tipo y cantidad de sustrato (arena fina , gruesa , grava y caliza), se trasplantó una especie diferente en cada humedal,(*Scirpus Californicus* y *Festuca dolichophylla*), se extrajo muestras de efluentes (agua de mina) de la Empresa Minera Austria Duvaz S.A. - Poza de bombeo N° 2-Nivel 1700 interior mina, posteriormente se evaluó los parámetros fisicoquímicos como Temperatura, PH y se envió al laboratorio CERTIMIN S.A (laboratorio acreditado por INACAL) , muestras de agua para el análisis de parámetros inorgánicos como Fierro disuelto, cobre total, zinc total, arsénico total, cadmio total y plomo total, este proceso se realizó periódicamente durante 5 meses, de la misma manera se evaluó el crecimiento y adaptabilidad de ambas especies donde se concluyó que el agua proveniente de interior mina presenta valores que sobrepasan el LMP, mientras que los resultados del análisis en el efluente proveniente de ambos humedales (agua tratada), se contempla concentraciones significativamente bajas de metales (Fierro disuelto, cobre total, zinc total, arsénico total, cadmio total y plomo total,) que se encuentran por debajo del límite máximo permisible (LMP).

Vargas (2021) realizó la investigación “Propuesta del diseño estructural del sistema wetland (humedal) para el tratamiento de aguas ácidas, para el cierre de minas de la unidad minera Anabi s.a.c en el distrito de Quiñota-Cusco, 2019”, la presente investigación tiene como objetivo diseñar la propuesta estructural del sistema Wetland, para optimizar el tratamiento de aguas acidas del proceso de cierre de mina de la Unidad minera ANABI S.A.C. en el distrito de Quiñota departamento de Cusco, 2019; actualmente la Unidad Minera

Anabí S.A.C ubicado en el distrito Quiñota provincia de Chumbivilca departamento de Cusco, se encuentra en estado de cierre final, por lo que busca implementar sistema wetland para el tratamiento de aguas acidas; el método de investigación empleado es de tipo descriptivo de diseño no experimental – transversal. La población se constituye por la Unidad Minera Anabi S.A.C en el distrito de Quiñota – Cusco y la muestra está constituido por la zona del Tajo Abierto Huisamarca. Donde se concluye que el diseño planteado para el sistema wetland consiste de un desarenador I con una capacidad de almacenamiento de 4,016.23 m³, un desarenador II con capacidad de almacenamiento de 5,138.94 m³ y también presenta un wetland con un volumen efectivo de 9,504.00 m³ además de un área de superficie útil de 13,771.21 m² que influyen en la supresión de acidez y eliminación de metales como parte del tratamiento de las aguas acidas; obteniendo de manera teórica el porcentaje de remoción de 57.8% para la supresión de acidez y 82.7%, 75.3% para la eliminación de metales (Fe y Mn) se obtienen mediante el promedio entre los resultados presentados por las empresas mineras según la experiencia en el tratamiento de aguas acidas.

Ciega y Miguel (2020) realizaron la investigación “Influencia del Tiempo y el Espesor de Capa Caliza Sobre la Remoción De Hierro Total y Sulfatos Mediante un Humedal Artificial de un Drenaje Ácido de Minas del Distrito de Hualgayoc, Cajamarca 2020”, el objetivo principal es determinar la influencia del tiempo de remoción y el espesor de capa de caliza sobre la remoción de hierro total y sulfatos mediante un humedal artificial de un drenaje ácido de minas, el estudio se realizó en tres fases campo, laboratorio y gabinete, En la fase de campo se construyó una planta piloto a escala, utilizando el proceso de tipo Batch, la cual se utilizó grava, Sustrato y totora (*Scirpus Californicus*); el agua ácida proveniente de pasivos ambientales mineros le la antigua minería, estas aguas fueron sometidas a un tratamiento, en la cual se determinó el tiempo más óptimo que es de 36 h y un espesor de capa de 20 Cm, la cual se obtuvo un agua que cumple con los estándares de calidad ambiental.

Pulcha y Valencia (2019) realizaron la investigación “Evaluación de la degradación de contaminantes ecotóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales”, tienen como objetivo: evaluar la disminución de los niveles concentración de contaminantes ecotóxicos (nitratos, amonio y competidores como iones metálicos cobre o plomo) de aguas residuales de una operación minera donde la investigación evalúa el tratamiento de aguas residuales a disposición, para lo cual se realizó un análisis de los parámetros necesarios para el diseño y, con ello, construir un sistema artificial de flujo sub superficial. Además, se probaron especies vegetales *Schoenoplectus californicus* (totora) y *Schoenoplectus lacustris* (carrizo), como parte de los componentes de un humedal artificial. En este sentido se construyó un humedal piloto con materiales filtrantes (piedra, arena, grava y tierra) y las especies vegetales antes mencionadas. Luego que las aguas residuales conteniendo cobre, cinc y plomo fueran tratadas en nuestros humedales artificiales pilotos, los niveles de concentración disminuyeron en un tanto por ciento y se evaluó si el agua tratada estaba dentro de los límites permisibles para la descarga, según lo demanda las normas vigentes y finalmente, se elaboró un flujo de costos con un factor de escala para la implementación de esta alternativa de tratamiento para llevarlo a pequeña y mediana minería, además de comunidades aledañas a las minas que puedan mantener aguas con un grado de calidad.

López (2018) realizó la investigación “Administración estratégica para el tratamiento de aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales en Nyrstar Coricancha S.A.”, tiene como objetivo el propósito conocer el efecto que causa la aplicación de la administración estratégica en el tratamiento de aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales que ofrecen una alternativa económica, sostenible y práctica para el tratamiento de este tipo de aguas. En la operacionalización de las variables se determinó que la variable independiente es la administración estratégica y la variable dependiente es el tratamiento de aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales; Utilizando el método científico, tipo de investigación aplicada, diseño

cuasiexperimental: cualitativo-cuantitativo; con un nivel de confiabilidad de 0.94, con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, para una muestra de $n = 30$ unidades de análisis y 29 grados de libertad, utilizando la prueba t, como regla de decisión se determinó que La aplicación de la administración estratégica permitió mejorar significativamente el tratamiento de aguas acidas de mina mediante humedales artificiales en Nyrstar Coricancha S.A. La administración estratégica con el tratamiento a las aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales tuvo un efecto positivo para la sociedad y para la empresa porque se obtuvo un efluente de buena calidad con valores que se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles que son: pH 6-9, Sólidos Totales en Suspensión 50 mg/l, Cobre total 0.5 mg/l, Plomo total 0.2 mg/l, Zinc total 1.5 mg/l, Hierro disuelto 2.0 mg/l, Arsénico total 0.1 mg/l y Cianuro total 1.0 mg/l; y una reducción del 51.95 % en el costo operativo.

Cadillo (2018) realizó la investigación “Propuesta de mejoramiento de la calidad de las aguas ácidas que drenan del pasivo ambiental de la mina Nuncia mediante el uso de bacterias sulfato reductoras – Ataquero – Carhuaz - Ancash”, el presente trabajo de investigación, se enfocó en desarrollar una propuesta para la reducción de las concentraciones de los metales totales en el agua acida del pasivo ambiental dejado por la empresa minera Nuncia en el distrito de Ataquero, provincia de Carhuaz, departamento de Áncash. Así permitiendo mejorar la calidad del agua, para lo cual se construyó un sistema de tratamiento consistente en un tubo de PVC de 4” que simula una columna de tratamiento teniendo como filtros naturales los propios materiales de la zona donde se realizara la investigación, de entre los cuales se seleccionó a la turba, paja y bosta de la vaca, ya que estas nos generan bacterias sulfato reductoras, las cuales son las causantes de la mejora de la calidad del agua. Para los efectos, se dio un primer paso con la identificación y caracterización de la zona de drenaje ácido, confirmados por el laboratorio en sus resultados arrojando acidez en todos los puntos de monitoreo, seguidamente se escogió un punto el más elevado en acidez para evaluar nuestra metodología al cual denominamos PM3 donde se observó una elevada concentración para el cobre (Cu). El

siguiente paso fue instalar el sistema de tratamiento y probar su eficiencia para ello se recolecto agua del punto PM 3 (punto de descarga de drenaje acido de mina), para después hacerla pasar por la columna y luego recolectar dicha agua para medir su pH in situ, el cual al compararla con el del agua ingresante nos dieron valores favorables, logrando así elevar considerablemente el pH hasta un valor de 6.24 y por ende las concentraciones de los metales disminuyeron hasta valores aceptables como en el caso del Cobre (Cu) con un valor final de 0.21 mg/l , así cumpliendo con la normativa peruana D.S 010-2010-MINAM para límites máximos de descarga de efluentes para la actividad minera.

Huamán (2018) realizo la investigación “tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmonte unsuitable IV Yanacocha Norte por el proceso de humedales en serpentín”, tiene como objetivo: Diseñar y evaluar el uso de un humedal para el tratamiento del drenaje ácido de mina, que permita mejorar el pH y disminuir la concentración de metales para que la descarga de esta agua cumpla con los límites máximos permisibles exigidos por la legislación ambiental peruana. El primer experimento se realizó utilizando compost (Yanahumus), agua ácida y tres especies de plantas: Phragmites australis, Hydrilla verticillata, Scirpus holoschoenus, después de una evaluación de tan solo 8 horas el pH había aumentado de 3.4 a 7.2 Con estos resultados se desarrolló la fase 2. En la segunda fase, se diseñó el humedal artificial. Para el cálculo del área del humedal se utilizó la metodología propuesta por (Skousen et al., 1994; Hedin et al., 1995; Watzlaf, 1997), sin embargo, una vez calculada el área se construyeron 2 humedales adicionales para validar resultados con 3 diferentes caudales (25, 30 y 35 ml/ min respectivamente). Los humedales se construyeron en forma de serpentín con 4 celdas (cada una de 0.34 m). En la base de cada celda se colocó una capa delgada de cuarzo (Para evitar saturación de lodos), sobre el cuarzo, se colocó 15 cm de alto de Yanahumus, se colocaron las especies anteriormente descritas más la totora y el lirio de jalca en sistema tres bolillos. De acuerdo al flujo en cada prueba, las plantas se encontraron inundadas entre 4 y 6 cm. Las pruebas fueron desarrolladas en un periodo de 60 días, tomando muestras de pH, y metales totales cada 4 días. Los mejores

resultados tanto para incremento de pH y reducción de metales se dieron a los 4 días con el flujo de 25 ml/min. Los resultados del pH no variaron estadísticamente en comparación con los otros caudales, sin embargo, existieron diferencias significativas en la disminución de metales en los tratamientos con caudal de 25, 30 y 35 ml/ min. La disminución en concentración de los principales metales en el agua fue de Cd 91.4%, Cr 97.25 %, Cu 81 %, Fe 97.9%, Pb 27.5% y Zn 85.5% cada uno. Finalmente, esta tesis muestra cómo se puede aumentar el pH y disminuir la concentración de metales presentes en el agua ácida de mina, a través de un sistema pasivo que minimiza costos, es amigable con el medio ambiente y que puede descargar aguas cumpliendo con los límites máximos permisibles que exige la legislación ambiental peruana. De este modo, esta tesis se convierte en una potencial alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas ácidas en minería.

Córdova & Rojas (2015) realizaron la investigación “Alcalinización con travertino y desmineralización de aguas ácidas de minas en simulador de humedal a nivel de laboratorio”, tienen como objetivo: alcalinizar con travertino y desmineralizar en fierro y manganeso las aguas ácidas del Túnel Kingsmill a nivel de laboratorio, donde se logró reducir la concentración de Fe y Mn a las normas peruanas, con el uso de una columna de alcalinización y un sistema de humedal. Se construyó una columna con relleno travertino de un diámetro de 20 cm y una altura de 150 cm rellena de 10,5 kg travertino, esto permitió llevar el pH desde 2,8 hasta 7,2 y también se disminuyó el contenido de fierro de 77,79 ppm hasta 4,75 ppm. Sin embargo, el contenido de manganeso no se redujo en la columna. Por consiguiente, para reducir el contenido de manganeso se construyó un estanque de humedal con totora como bioextractor, en forma de paralelepípedo, de 2 m de largo, de 0,8 m de ancho y 0,5 m de altura. Obteniéndose una disminución del contenido de manganeso de 17,73 ppm hasta 0,205 ppm, así como el contenido de hierro disminuyó 3,73 ppm. El caudal se mantuvo constante a 15 mL/min, la temperatura constante a 16 °C, presión atmosférica de 520 mmHg (condiciones de Huancayo). Las variables manipuladas en este trabajo fueron: el diámetro de partícula de

travertino para relleno de columna y la longitud de recorrido en el estanque de humedal. Experimentalmente, se determinó el tamaño óptimo de partícula de travertino de 0,75 pulgadas para el relleno de columna. La longitud recorrida en el sistema de humedal es de 3,2 m lineales.

Paucar (2018) “Capacidad del sistema de tratamiento pasivo para mejorar la calidad del drenaje ácido de mina de la quebrada Puca, distrito Huandoval – Ancash, 2018”, las actividades mineras están asociadas a distintos impactos ambientales, uno de estos es la generación de drenaje ácido de roca, la cual debe ser controlada y remediada para no producir lixiviados ácidos, con presencia de iones metálicos, provocando la degradación de cuerpos hídricos, ya que este afecta gravemente al desarrollo de las plantas y la vida acuática, la cual puede persistir durante décadas degradando el ambiente. Al respecto, la precedente investigación presenta una alternativa para remediar, compensar y mitigar este impacto, a través de un sistema pasivo el cual aprovecha las condiciones del lugar, los sustratos orgánicos y es potenciado por el uso de bacterias sulfato - reductoras las cuales, como parte de su desecho metabólico, generando una reducción desasimilaría del sulfato del ciclo del azufre. Por ello la presente tesis tiene por objetivo evaluar en qué medida la capacidad del sistema de tratamiento pasivo puede influir en la mejora de la calidad del drenaje ácido. La investigación es experimental, con un diseño de investigación de tipo cuasi experimental, dado que solo se observó cual era el efecto del drenaje ácido de mina al transcurrir por los componentes del sistema de tratamiento pasivo, en la que a través de métodos APA se determinó la concentración de metales pesados, sulfato, pH y conductividad, llegándose a la conclusión de que el sistema presenta un 96% de eficiencia.

2.1.3. A nivel local

Cayllahua y Gonzales (2020) realizaron la investigación “Biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros mediante el uso de biomasa microbiana, Mina Buenaventura - Julcani”, tienen como objetivo general de evaluar la eficiencia de biosorción (%) de los metales de cobre (Cu)

y plomo (Pb) mediante el uso de biomasa microbiana por medio de los objetivos específicos, determinar la proporción óptima (g) de biomasa microbiana y tiempo óptimo de contacto (h) para la biosorción de los metales en estudio. El tipo de investigación fue aplicada con un nivel explicativo o experimental. La recolección y análisis de datos se llevó a cabo en base al cronograma planteado mediante las siguientes actividades: acondicionamiento de laboratorios, muestreo y caracterización de la fuente de agua, pre análisis de agua y biomasa microbiana, ensayos de laboratorio y análisis de muestras finales. De este modo se llegó a determinar que la proporción óptima (g) de biomasa microbiana es de 27 gramos y el tiempo óptimo de contacto (h) de 3 horas. Aplicando la proporción óptima de biomasa microbiana y el tiempo óptimo de contacto, la eficiencia de biosorción en un sistema multi-componente proveniente de relaves mineros es de un 95,73 % para cobre (Cu) y 92,37 % para plomo (Pb). Por lo tanto, se concluyó que la eficiencia de biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros mediante el uso de biomasa microbiana, Mina Buenaventura – Julcani es mayor al 50 %.

León (2018) realizó la investigación “Aplicación del método de tratamiento pasivo Dispersed Alkaline Substrate (DAS), para la remoción de metales, contenidos en el drenaje ácido de mina Julcani, Perú”, tiene como objetivo poner a prueba el sistema DAS para el tratamiento de AMD, durante la experimentación, se aplicó el AMD Julcani al sistema DAS, cuyas características eran de acidez >1000 mg/L como equivalente CaCO₃, pH<3 concentraciones medias de 425 mg/L de Fe, 140 mg/L de Mn, 10 mg/L de Al y 20 mg/L de Zn y metales trazas de 0.2-0.05 mg/L de Pb, Cd, Co y Ni. El sistema DAS estaba compuesto por un tanque de suministro de AMD, columna DAS caliza, un decantador 1, columna DAS magnésico, un decantador 2, conectado en serie; la operación se desarrolló por 9 semanas, en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Tierra, de la Universidad de Huelva (UHU), España. El resultado fue; a la salida del tanque 1 se observó la eliminación del 21% de Fe total y ligera disminución del pH; en el DAS caliza, se registró la

retención del Al (100%), Fe (III) al 98% y eliminación del 86% de acidez neta; en el DAS magnésico, se reportó la eliminación de Fe, Cu, Cd, Ni y Co al 100%, alcanzando características alcalinas (-40 mg/L equivalente de CaCO₃); finalmente, el decantador 2, remueve el remanente de Zn y Pb, llegando a una media de 8.6 de pH. Los resultados concluyen en que se alcanzó el objetivo de la experimentación, eliminando metales (exceptuando Mn, con eliminación al 99.8%) y acidez, alcanzando Estándares de Calidad Ambiental para aguas. Por tanto, nos orienta a seguir con el desarrollo de otras pruebas experimentales a nivel piloto, in situ.

Pinto (2010) “Ecological and Environmental Disaster in Huancavelica”, el trabajo trata de confirmar, una vez más, que la actividad minera en el Perú afecta los sistemas ecológicos y el medio ambiente. Esto es posible debido al poder de las empresas y a la debilidad y complicidad del Estado. En este sentido, uno de los objetivos de esta investigación es contribuir al conocimiento de un problema nacional, que es la contaminación ambiental a partir de un caso concreto: el derrame de relaves en la mina Caudalosa Chica donde los temas centrales desarrollados abarcan la descripción de los hechos, causas, daños ocasionados, sanciones, impunidad ambiental, etc.

2.2. Bases teóricas de la investigación

2.2.1. Teoría general de sistemas

Se cree que esta teoría se encuentra estrechamente relacionada con el trabajo de Ludwig von Bertalanffy, biólogo alemán, que en el año 1925 realizó la presentación de la teoría cuando hizo pública sus investigaciones sobre el sistema abierto, por otro lado, se considera este nacimiento como algo prematuro ya que el autor reconoce que sus ideas no tuvieron una acogida favorable en el mundo científico, que a partir de 1945 cuando el concepto de la teoría general de sistemas adquirió su derecho a vivir (Johansen, 2004).

La teoría general de sistemas describe un nivel de construcción teórico de modelos que se sitúa entre las construcciones altamente generalizadas de las

matemáticas puras o sea el cálculo infinitesimal y las teorías específicas de las disciplinas especializadas, donde aspira a enunciar principios aplicables a sistemas en general o a subclases definidas (sistemas cerrados y abiertos), a proporcionar técnicas para su investigación y descripción y aplicar estas a casos concretos (Johansen, 2004).

El destino de la teoría no busca establecer una teoría general de prácticamente cualquier cosa, única y total, que reemplace todas las teorías especiales de cada disciplina en particular, ya que a medida que aumentamos la generalidad tenemos que hacerlo a costa del contenido, es así que presenta un ordenamiento jerárquico a los posibles niveles que determinan un ordenamiento de los diferentes sistemas que nos rodean (Johansen, 2004).

Boulding muestra un ordenamiento jerárquico de los niveles que establecen un ordenamiento de los diferentes sistemas que nos rodea:

- 1er nivel: Estructuras estáticas (el modelo de los electrones dentro del átomo)
- 2do nivel: Sistemas dinámicos simples (el sistema solar)
- 3er nivel: Sistemas cibernéticos o de control (el termostato)
- 4to nivel: Los sistemas abiertos (las células)
- 5to nivel: Genético Social (las plantas)
- 6to nivel: Animal
- 7mo nivel: El hombre
- 8vo nivel: Las estructuras sociales (una empresa)
- 9no nivel: Los sistemas trascendentes (ejemplo: lo absoluto)

(Johansen, 2004)

Denomina la teoría como el “Esqueleto de la Ciencia” donde esta teoría busca un marco de referencia de una estructura del sistema en la cual, “colgar la carne y la sangre de las disciplinas particulares en el ordenado y coherente cuerpo de conocimientos” (Johansen, 2004).

2.2.2. Teoría de la difusión

La difusión es el movimiento de un componente individual a través de una mezcla, bajo la influencia de un estímulo físico donde el gradiente de concentración de un componente tiende a mover al componente en una dirección tal que iguale las concentraciones y anule el gradiente; el flujo del componente que se difunde se dice que es continuo cuando el gradiente se mantiene mediante el suministro continuo de los componentes de baja y alta concentración en este sentido el movimiento se aprovecha en las operaciones de transferencia de masa (Suastegui, 1997).

La difusión es un flujo físico de materia que transcurre con una velocidad definida. Un componente que se difunde deja atrás de él un espacio y es preciso disponer de un lugar para su nueva localización.

La naturaleza del material de la difusión y el flujo que resulta, nos lleva a tres tipos de situaciones:

- Únicamente se transfiere un componente A de la mezcla hacia o desde la interface, y el flujo total es el correspondiente de A.
- La difusión de un componente A en una mezcla esta equilibrada por un flujo molar igual y de sentido contrario del componente B, de tal forma que no hay flujo molar neto.
- La difusión de A y de B tiene lugar en sentidos opuestos, siendo diferentes los sentidos molares de flujo.

En la teoría de la difusión se usan cinco conceptos relacionados entre sí:

1. La velocidad u , definida en [longitud/tiempo].
2. La densidad de flujo N a través de un plano, en [moles/área-tiempo].
3. La densidad del flujo J en un plano de velocidad nula, en [moles/área-tiempo].
4. La concentración c y la densidad molar p^* [moles/volumen].
5. El gradiente de concentración dc/db , donde b es la longitud del camino perpendicular al área a través de la cual tiene lugar la difusión.

(Suastegui, 1997).

Para la descripción de los movimientos de sustancias individuales de la fase total se requiere de diferentes velocidades, ya que el movimiento absoluto no tiene sentido, cualquier velocidad debe estar basada en un estado arbitrario de reposo donde el término velocidad sin cualificación se refiere a la velocidad relativa a la interface entre las fases, que es la que apreciaría un observador que este en reposo con respecto a la interface (Suastegui, 1997).

2.2.3. Teoría de la difusividad de líquidos

La teoría de difusión en líquidos está poco desarrollada y los datos experimentales son menos abundantes que para los gases y la difusión en líquidos ocurre a causa del movimiento al azar de las moléculas, pero la distancia media recorrida o recorrido medio libre entre colisiones intermoleculares es inferior al diámetro, en oposición con lo que ocurre en gases, donde el recorrido libre medio es de mayor orden de magnitud que el tamaño de la molécula (Bird, 2006).

Para disoluciones diluidas de líquidos, las difusividades pueden calcularse a través de la ecuación:

$$Dv = 7.4 * 10^{-8} * \frac{(\psi_{\beta} * M_{\beta})^{1/2} * T}{\mu * \mathcal{V}_A^{0.6}}$$

(Bird, 2006).

Esta ecuación sólo es válida en soluciones de baja concentración y son aplicables a electrólitos (Bird, 2006).

Para disoluciones acuosas de soluciones de baja concentración en electrólitos se puede utilizar una ecuación más sencilla:

$$Dv = \frac{13.26 * 10^{-5}}{\mu_{\beta}^{1.14} * \mathcal{V}_A^{0.589}}$$

(Bird, 2006).

2.2.4. Teoría de la cohesión-tensión

El ascenso de la savia bruta en contra de la gravedad se produce gracias a varios fenómenos físicos que dependen de tener vasos leñosos muy finos, como de las propiedades físicas tensión superficial, adhesión y cohesión en los conjuntos de estos procesos son: la presión radicular, la transpiración y la tensión-cohesión (Bachibiology, 2012).

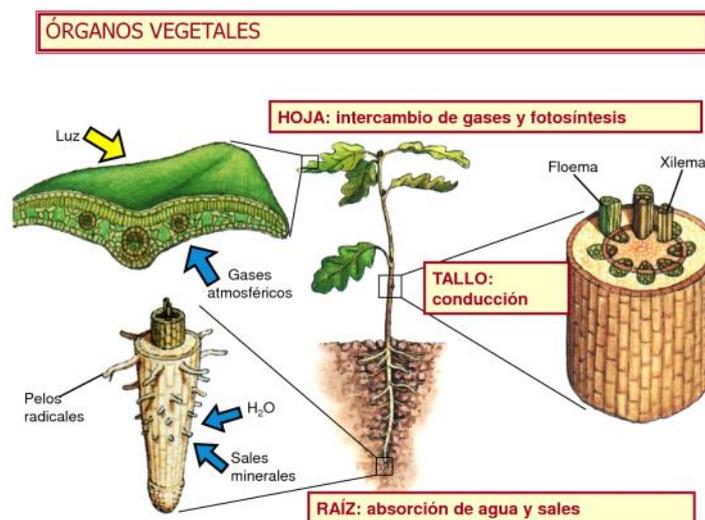
- Presión radicular: Las células de la raíz tienen una concentración de solutos mayor que la del agua en el suelo esta entra en el interior de la raíz por ósmosis por ende produce una presión radicular para que la savia bruta ascienda por el tallo, esta presión no es suficiente en plantas con gran altura (Bachibiology, 2012).
- Transpiración: Ocurre en las hojas y se basa en la pérdida de agua por evaporación, al aumentar la transpiración aumenta la absorción de agua a través de las raíces donde la pérdida de agua por evaporación hace una

fuerza capaz de absorción de agua en la raíz y es capaz de conducirla por la xilema hasta el resto de la planta, esta fuerza aspirante ejerce una presión denominada tensión y que tira de cada molécula de agua hacia arriba (Bachibiology, 2012).

- **Tensión-cohesión:** Las moléculas de agua están unidas entre sí por enlaces de hidrógeno que permite una cohesión elevada y hace que la tensión que puede soportar una columna de agua no llegue a romperse, este mecanismo interviene la adhesión de agua a las paredes de los vasos leñosos (Bachibiology, 2012).

Figura 1

La absorción y transporte de agua en las plantas



Fuente: (Bachibiology, 2012).

La cohesión que se origina entre las moléculas de agua, que como se señaló anteriormente es debida a los puentes de hidrógeno, permite que ellas formen largas cadenas. Así mismo, la interacción entre las moléculas de agua y una superficie (pared celular, por ejemplo) se denomina adhesión; La adhesión es fundamental en los procesos de ascenso del agua en las plantas debido a que las moléculas de agua se adhieren a la pared de celulosa de la

xilema y de esta forma contrarrestan la fuerza de gravedad donde la tensión superficial del agua es la responsable de los fenómenos de capilaridad (Torres M. , 2012).

Esta se produce por la atracción asimétrica que sufren las moléculas de agua que están en la superficie y también hace que se formen gotas esféricas de agua sobre una superficie cerosa debido a la tendencia de las moléculas de agua a tener una superficie mínima que es la esfera (Torres M. , 2012)

Debido a esta teoría de cohesión – tensión se produce el proceso de fitorremediación gracias a la interacción de la raíz con el suelo y a los distintos procesos que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos contaminantes, según sea el proceso del que se trate, se han definido diferentes mecanismos o estrategias de fitorremediación entre las que se incluye la rizodegradación, fitoextracción y fitoestabilización, entre otras (Sierra, 2006).

El hecho de que la fitorremediación sea una metodología que pueda ser aplicada de manera in-situ, permite que la destrucción, transformación, inmovilización o cualquier técnica que vaya a ser aplicada para reducir la disponibilidad del contaminante pueda realizarse sin la necesidad de excavar o transportar el medio contaminado, lo que a su vez reduce el impacto en el ecosistema y por supuesto, los costos de aplicación (Sierra, 2006).

2.3. Bases conceptuales

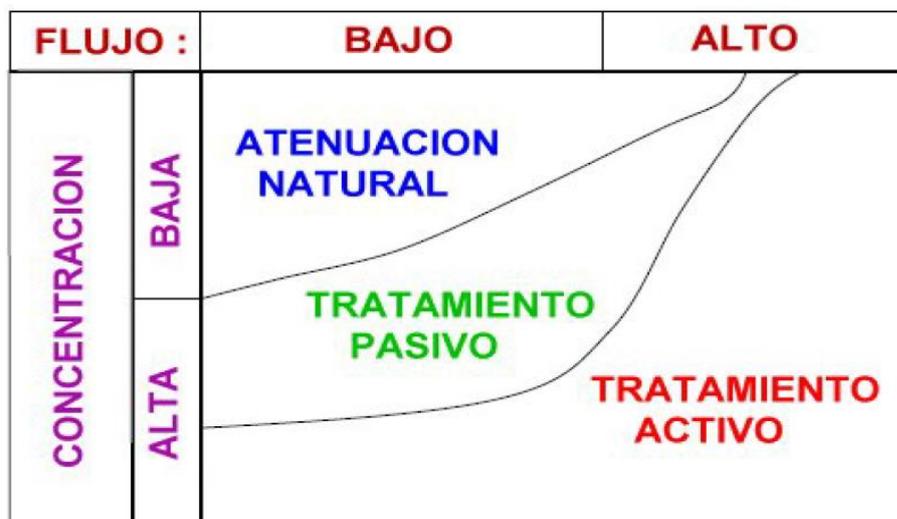
2.3.1. Tratamiento por métodos pasivos de drenajes ácidos

Considerando que los sistemas pasivos tienen mayor eficacia en el tratamiento de pequeños caudales, como los que se generan en minas abandonadas, conviene realizar primero la estabilización física y geotécnica de las estructuras mineras a clausurar, seguido de los trabajos de sellado y restauración para minimizar las descargas de efluentes, una vez recogido los drenajes residuales y antes de elegir el sistema de tratamiento, se debe proceder

a su caracterización geoquímica (pH, oxígeno disuelto, conductividad, contenido de metales y otros), y poner especial atención a las condiciones hidrológicas del lugar, así como a los cambios de temperatura y clima, entre los principales aspectos a tener en cuenta en el diseño de un sistema pasivo, tenemos: las características del agua a tratar, el área o superficie, la geometría del dispositivo, la profundidad de las celdas, el tiempo de retención hidráulica y la composición del sustrato (Aduvire, 2006).

Teniendo en cuenta que los métodos de tratamiento convencional de las aguas ácidas tienen costos elevados y que no pueden ser mantenidos por períodos prolongados una vez finalizada la vida de la mina, es necesario buscar la viabilidad de aplicar otros métodos de tratamiento como los sistemas pasivos, entre los métodos de tratamiento pasivo que podrían aplicarse, para flujos superficiales tenemos los humedales artificiales, drenajes anóxicos, balsas orgánicas y sistemas de producción alcalina; para flujos subterráneos las barreras reactivas permeables (PRB, *Permeable Reactive Barriers*), y para lagos mineros los bioprocesos anaerobios donde el objetivo principal es la supresión de la acidez, la precipitación de los metales pesados y la eliminación de sustancias contaminantes (Aduvire, 2006).

Figura 2



Rango óptimo de aplicación de los sistemas de tratamiento de aguas ácidas

Fuente: (Aduvire, 2006)

En cuanto a los costes unitarios de los sistemas de tratamientos pasivos para aguas ácidas van a depender de una amplia serie de factores, pero a modo de ejemplo se pueden citar los costos de algunos sistemas experimentales en la construcción de humedales aerobios para tratar drenajes ácidos de minas de carbón se han obtenido costos entre 3,58 US\$/m² y 32,08 US\$/m² y en el caso de humedales anaerobios se ha estimado un costo de 570 US\$/m³. La USEPA (2000) en *Coal Remining BMP Guidance* referencia un coste total de 90.014 US\$ para un sistema ALD construido en 1994 y diseñado para 30 años; Ziemkiewicz *et al.*, (2000) estiman el costo total de cuatro SAPS construidos en Pennsylvania (EEUU), entre los años 1991 y 1996, obteniendo cifras entre 17.000 y 72.000 US\$, para un periodo de vida de 20 a 30 años (Aduvire, 2006).

2.3.2. Sistema de humedales artificiales

Un humedal artificial es una cubeta de poca profundidad rellena de algún tipo de material (sustrato), generalmente arena o grava y plantada con vegetación resistente a condiciones de saturación donde las aguas residuales se introducen en la cubeta y fluyen sobre la superficie o a travez del sustrato y son vertidas fuera de ésta a través de una estructura que controla la profundidad de dichas aguas en el interior del humedal (Organización de las Naciones Unidas-HABITAT, 2008).

Un humedal artificial se compone de los siguientes cinco componentes principales:

- Cubeta
- Sustrato o lecho filtrante
- Vegetación
- Membrana impermeabilizante
- Estructuras de entrada y salida

(Organización de las Naciones Unidas-HABITAT, 2008).

La cubeta excavada se rellena con un sustrato permeable (se ha usado roca, grava, arena y suelo) y el nivel de agua se mantienen por debajo de la parte superior del sustrato, de tal manera que se produzca un flujo subsuperficial, este sustrato de soporte a las raíces de los mismos tipos de vegetación emergente, plantada en la superficie superior del sustrato (Organización de las Naciones Unidas-HABITAT, 2008).

Por medio de sistemas de estructuras de entrada y salida, se consigue que la distribución y recolección de aguas residuales sea homogénea, en caso de que sea importante proteger las aguas subterráneas, se debe usar una membrana impermeabilizante (Organización de las Naciones Unidas-HABITAT, 2008).

2.3.2.1. Tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales

a) Humedales artificiales de flujo superficial (HAFS)

En este tipo de humedales, el agua está directamente expuesta a la atmósfera y circula a través de los tallos de las plantas. Estos humedales pueden ser considerados como una serie de lagunas clásicas con la diferencia que se opera con menores profundidades de la lámina de agua y de que las balsas están colonizadas por plantas acuáticas emergentes, donde suelen ser instalaciones de varias hectáreas que principalmente tienen efluentes procedentes de tratamientos secundarios y que también pueden ser empleados para crear y restaurar ecosistemas acuáticos (Pulcha & Valencia, 2019).

La alimentación de este tipo de humedales se efectúa de manera constante y la depuración tiene como lugar el tránsito de las aguas a través de los tallos y las raíces de la vegetación emergente plantada mientras los tallos, las raíces y las hojas funcionan como soporte para la fijación de la película bacteriana que es responsable de los procesos

de biodegradación mientras que las hojas que se ubican por encima de la superficie del agua brindan sombra a la masa de agua y así se evita el crecimiento de micro algas (Pulcha & Valencia, 2019).

b) Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Los humedales de flujo subsuperficial se caracterizan por el hecho de que el agua circula a través de un material granular (arena, grava, gravilla) cuya permeabilidad es suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación que en su mayoría suele ser carrizo, este tipo de humedales son instalaciones de menor tamaño que los de flujo superficial y se emplea en el tratamiento de aguas residuales generadas en poblaciones cuyo núcleo sea menor a 2000 habitantes (Pulcha & Valencia, 2019).

La vegetación es plantada en este medio granular y el agua está en contacto con rizomas y las raíces de las plantas, este tipo de humedales se dividen en dos categorías en función a la forma de aplicación del agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y humedales de flujo subsuperficial vertical (Pulcha & Valencia, 2019).

2.3.3. Sistemas de tratamiento para flujos superficiales

La filosofía general de los tratamientos pasivos se basa en procesos físicos, químicos y biológicos que ayudan a cambiar las condiciones del Eh y pH de las aguas ácidas de mina, de forma que se favorezca la formación de especies insolubles que precipiten como oxihidróxidos metálicos y en estos sistemas se recurre al empleo de bacterias para catalizar las reacciones y acelerar los procesos que forman precipitados, así como al uso de material alcalino para neutralizar la acidez (Aduvire, 2006).

Entre los métodos pasivos que más se han utilizado destacan los humedales aerobios, los humedales anaerobios o balsas orgánicas, los drenajes anóxicos calizos (ALD, *Anoxic Limestone Drains*), los canales óxicos calizos

(OLC, *Open Limestone Drains*), los sistemas sucesivos de producción de alcalinidad (SAPS, *Successive Alkalinity Producing Systems*). En la práctica estos métodos operan en condiciones aerobias o anaerobias y se emplean solos o combinados, dependiendo del tipo de drenaje ácido y de los requerimientos de tratamiento (Aduvire, 2006).

2.3.3.1. Humedales aerobios

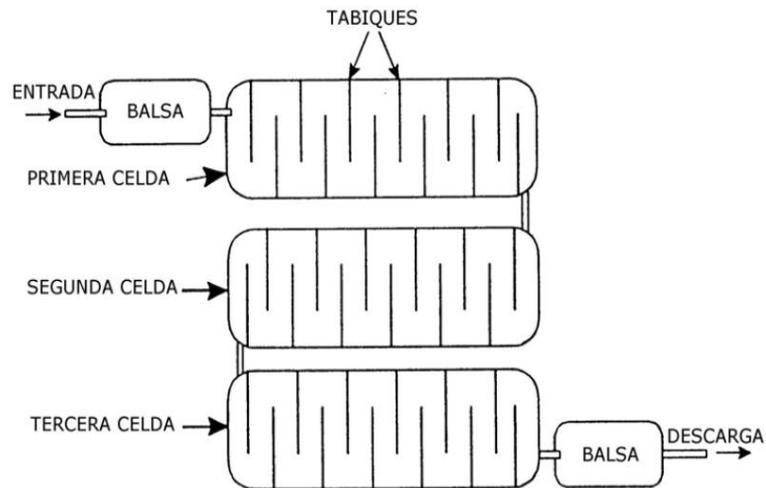
En los humedales aerobios artificiales se pretende reproducir los fenómenos y procesos de los humedales naturales (pantanos, marismas, turberas, etc.), creando un ambiente propicio para el desarrollo de ciertas plantas (*Tipha*, *Equisetum*, carrizo, juncos, etc.), comunidades de organismos (algas, protozoos y bacterias) y musgos (*Sphagnum*), los cuales participan en la depuración del agua (Kadlec y Knight, 1996); Estos humedales ocupan una gran superficie y tienen una somera lámina de agua que inunda el substrato sobre el que se desarrolla la vegetación, el lento fluir del agua en el humedal permite alcanzar el tiempo de retención necesario para que tengan lugar los lentos procesos depuradores del agua (Aduvire, 2006).

Estos sistemas favorecen el contacto entre el agua contaminada y el aire atmosférico mediante el empleo de plantas acuáticas, al liberar éstas oxígeno por sus raíces y rizomas; para que la vegetación emergente actúe de este modo el espesor de la lámina de agua no debe superar los 30 cm y el substrato oxigenado del humedal propicia la formación de un hábitat para que se desarrollen ciertas colonias de bacterias que actúan como catalizadoras en la reacción de oxidación de los contaminantes presentes en el humedal, transformando en el caso del hierro el Fe_{2+} a Fe_{3+} , el cual finalmente precipita en forma de hidróxido (Aduvire, 2006).

Un sistema aerobio suele consistir en una o varias celdas conectadas por las que circula el agua lentamente por gravedad, estableciéndose un flujo horizontal superficial (Fig.3) (Aduvire, 2006).

Figura 3

Disposición de las celdas y circulaciones del agua en un humedal aerobio

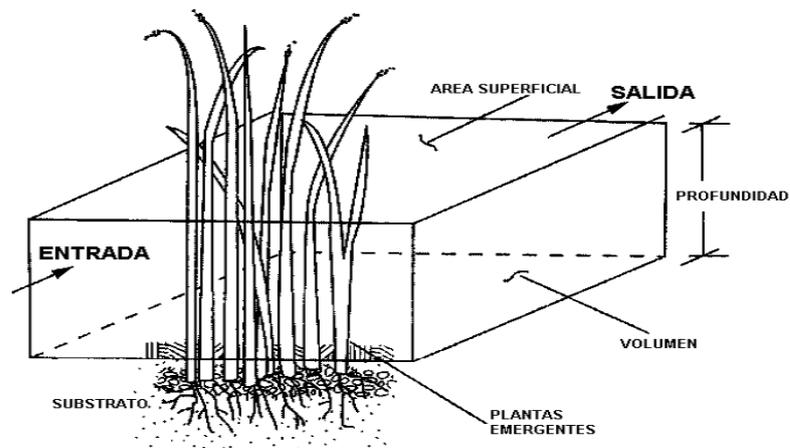


Fuente: (Aduvire, 2006)

Para favorecer la oxigenación del agua y mejorar la eficiencia en el tratamiento se diseñan sistemas que incluyan cascadas, lechos serpenteantes y balsas de grandes superficies con poca profundidad en donde se implante entramados de plantas hidrófitas que cubran cerca del 40% de la superficie del humedal (Fig. 4) (Aduvire, 2006).

Figura 4

Variables que se consideran en el diseño en un humedal



Fuente: (Aduvire, 2006)

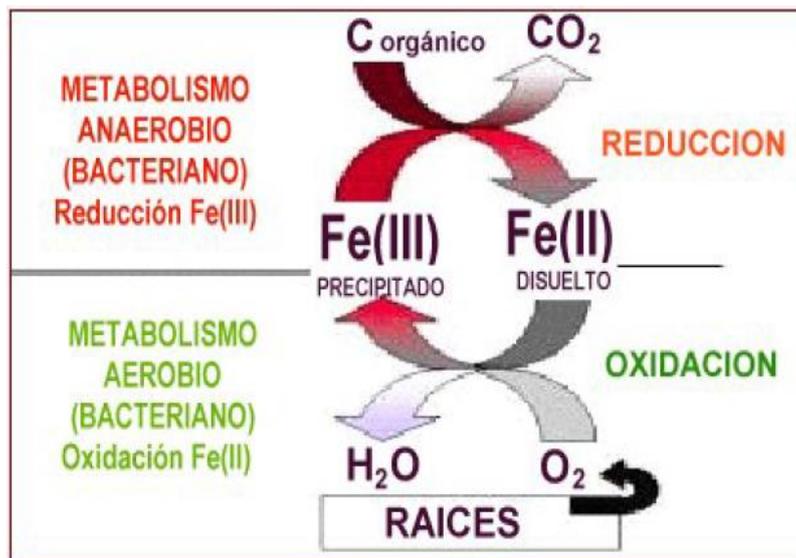
Las plantas emergentes que se emplean en los humedales pueden transferir hasta unos $45 \text{ g O}_2/\text{m}^2/\text{día}$ a través de sus raíces y crear una zona aerobia en el sustrato del humedal en donde se produce la oxidación y precipitación de metales. La densidad de plantas (*Typha*) en un humedal suele ser de $10 \text{ plantas}/\text{m}^2$, para mantener esta población es conveniente fertilizar en el humedal ya que las aguas de mina no llevan los nutrientes necesarios donde el crecimiento natural de algas en los humedales favorece la bioacumulación de metales pesados, especialmente Fe y Mn que son utilizados como macronutrientes (Aduvire, 2006).

Entre los numerosos procesos que se dan en un humedal aerobio, tenemos: la oxidación de metales, precipitación y co-precipitación, además de la filtración de la materia en suspensión, la adsorción de metales e intercambio iónico en los materiales del sustrato, la bioacumulación de metales en las raíces y partes emergentes de las plantas (Aduvire, 2006).

En los humedales aerobios las reacciones de oxidación son los mecanismos dominantes en la remoción de metales, que precipitan como óxidos, hidróxidos y oxihidróxidos debido a la hidrólisis de Fe^{3+} , Al^{3+} y Mn^{4+} principalmente, aunque estas reacciones también generan acidez y se desarrollan a pH bajos (Fig. 5) (Aduvire, 2006).

Figura 5

Procesos de oxidación – reducción inducidos por la actividad bacteriana y las plantas en humedales



Fuente: (Aduvire, 2006)

2.3.3.2. Humedales anaerobios o balsas orgánicas.

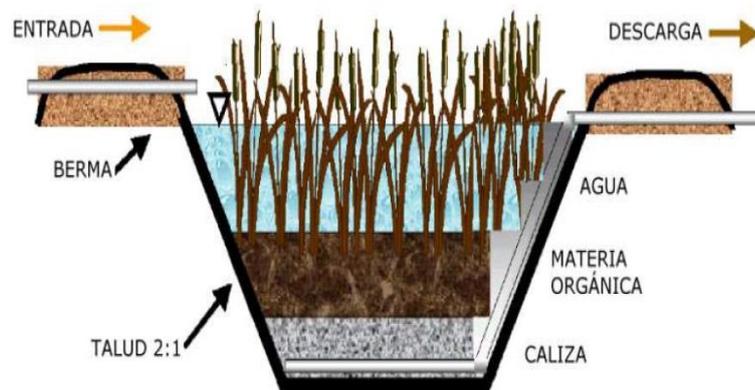
En este tipo de humedal el agua de mina fluye por gravedad y el incremento del pH hasta niveles cercanos al neutro se debe a la alcalinidad de los bicarbonatos que se generan en el sistema a partir de la reducción anaerobia del sulfato y la disolución de la caliza (CaCO₃), para evitar que se produzcan procesos aerobios que desencadenen la generación de acidez metálica a través de la hidrólisis de algunos metales se recurre al pre-tratamiento del agua ácida con caliza en condiciones atmosféricas (Aduvire, 2006).

Para favorecer las condiciones anóxicas que se requieren para su correcto funcionamiento, la altura de la lámina de agua ha de superar los 30 cm, esta lámina cubre un substrato permeable de un espesor de 30-60 cm formado mayoritariamente por material orgánico (70-90% de estiércol, compost, turba, heno, aserrín, etc.), que está entremezclado o bien

dispuesto sobre una capa de caliza (Fig. 6), donde la finalidad del substrato orgánico es eliminar el oxígeno disuelto, reducir el Fe^{3+} a Fe^{2+} , y generar alcalinidad mediante procesos químicos o con intervención de microorganismos, sobre el conjunto de este substrato se desarrolla la vegetación emergente característica de los humedales, la cual ayuda a estabilizar el substrato además de aportar materia orgánica adicional (Aduvire, 2006).

Figura 6

Disposición de las capas en un humedal anaerobio



Fuente: (Aduvire, 2006)

2.3.4. Planta fitodepuradora (Totorá)

Una de las macrófitas más conocidas y difundidas en nuestro medio es la Totorá (*Schoenoplectus californicus*). Esta especie fue traída del Lago Titicaca de la laguna Alalay, donde forma parte de la flora presente en la laguna y también se encuentra en abundancia en las zonas de inundación de la planta de tratamiento de Alba Rancho; donde esta macrófitas forman parte de la amplia gama de plantas fitodepuradora empleadas en los sistemas no convencionales de depuración de aguas residuales (Delgadillo, Camacho, F.Pérez, & Andrade, 2010).

2.3.5. Problemas ambientales de aguas ácidas

La presencia de aguas ácidas en el medio ambiente está vinculada a los procesos de actividades en explotación minera y por la acción de los pasivos ambientales en abandono, los que forman escorrentías superficiales ácidas, produciendo alteración en el ciclo hidrológico, en la calidad del agua superficial y subterránea y en la vida de especies acuáticas (flora y fauna), un ecosistema alterado en su calidad biótica, representando un impacto paisajístico y mostrando un comportamiento fisiológico como: la inexistencia de vida acuática, el color y la toxicidad de las aguas (Aguilar & Aguilar, 2017).

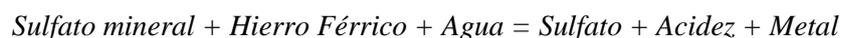
2.3.6. Drenaje ácido de mina (DAM)

Un drenaje ácido de mina (DAM) es el agua contaminada originada de la explotación minera, ya sea superficial o profunda, típicamente de alta acidez, rica en sulfato y con niveles elevados de metales pesados, principalmente hierro, manganeso y aluminio, debido a la alta cantidad de hierro oxidado, el DAM es a menudo rojizo coloreado (Gamonal, 2013).

El DAM es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales como la piritita, pirrotina, mascarita, etc. En contacto con el oxígeno de aire y agua (Aduvire, 2006).



También otros oxidantes como hierro férrico Fe^{3+} puede reemplazar al oxígeno del aire en la reacción y en algunos casos al oxígeno de agua:



(Aduvire, 2006).

Durante la explotación de determinados yacimientos carbón, sulfuros metálicos, hierro, uranio y otros quedan expuestos a la meteorización grandes

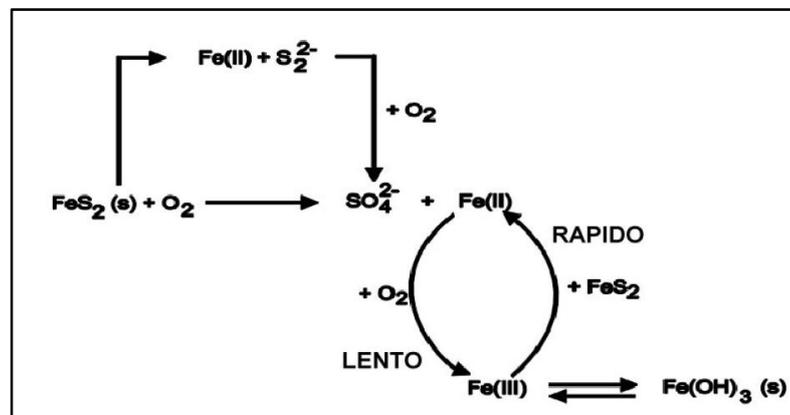
cantidades de minerales sulfurosos que pueden llegar a formar drenajes ácidos. Para que esto tenga lugar son necesarias unas condiciones aerobias, es decir la existencia de cantidades suficientes de agua, oxígeno y simultáneamente a acción catalizadora de bacterias (Aduvire, 2006).

2.3.6.1. Mecanismos de formación de aguas ácidas

La formación de aguas ácidas tiene lugar a partir de la oxidación química de los sulfuros, acelerada en muchos casos por la acción bacteriana y los principales elementos que intervienen son: los sulfuros reactivos, el oxígeno y el agua (vapor o líquida), y como elemento catalizador las bacterias (Fig. 7) (Aduvire, 2006).

Figura 7

Formación de aguas ácidas de mina



Fuente: (Aduvire, 2006)

La velocidad de reacción es una variable muy importante, pues si el proceso ocurre muy lentamente el efecto sobre el medio puede ser despreciable. Sin embargo, si la generación de aguas ácidas es rápida el problema se agrava, ya que se producirá la contaminación del entorno (Aduvire, 2006).

Aunque la velocidad de reacción depende de numerosos factores como temperatura, cantidad de sulfuros, granulometría, presencia de agua,

aire y bacterias. Ciertas especies mineralógicas son más reactivas que otras; por ejemplo, la marcasita, que tiene la misma fórmula química que la pirita, es muy inestable y puede generar rápidamente aguas ácidas. Los sulfuros de otros metales (plomo, cinc o cobre) son generalmente menos reactivos que los de hierro, debido a la mayor estabilidad de su estructura cristalina y también porque forman minerales menos solubles que recubren la superficie de los propios sulfuros impidiendo que progrese su oxidación (Aduvire, 2006).

La cantidad y el tamaño de los granos del mineral influyen en la velocidad de reacción. Las texturas finas con variedades mal cristalizadas se oxidan más rápidamente que los granos cristalinos gruesos, ejemplo en una forma de pirita desarrollada en condiciones de baja temperatura puede producir mucho más rápidamente acidez que una gran masa de sulfuros formada a alta temperatura, debido a la menor relación de superficie/volumen (Aduvire, 2006).

2.3.6.2. Etapas en la formación de aguas ácidas

Los drenajes de minas en operación o abandono generan problemas de contaminación y degradación de los ecosistemas, pudiendo llegar a extinguir la vida acuática. También imposibilita el uso de estas aguas para consumo humano, debido a su acidez y elevada concentración de metales disueltos como hierro, manganeso, aluminio, arsénico, selenio, cinc, níquel, y otros, por otro lado genera daños a las estructuras metálicas y de hormigón, así como la destrucción o desaparición de la vegetación y la fauna de los cauces naturales (Aduvire, 2006).

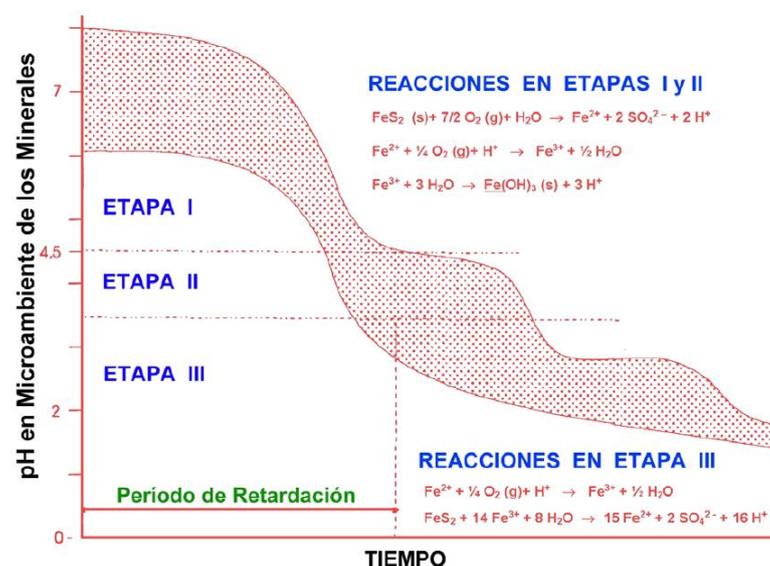
Una forma de evitar la formación de aguas ácidas es la neutralización de las mismas, en este sentido la oxidación de una tonelada de pirita produce casi una tonelada de hidróxido férrico y cerca de tonelada y media de ácido sulfúrico. El proceso de formación de aguas ácidas, en su conjunto, también se puede explicar en tres etapas, como se observa en la Fig. 8.

1ª etapa. La oxidación de minerales sulfurosos libera hierro ferroso que bajo condiciones neutras se oxida químicamente y se transforma a hierro férrico que precipita como hidróxido y aporta acidez al medio. En esta etapa del proceso la velocidad de oxidación es baja en los dos mecanismos de generación ácida (directa e indirecta) y la formación de aguas ácidas por oxidación debida al aire y a las bacterias (fundamentalmente *Thiobacillus ferrooxidans*) se producen a un ritmo semejante, Por lo general la alcalinidad disponible en el medio es suficiente para neutralizar parcialmente la acidez que se ha producido lentamente (Aduvire, 2006).

2ª etapa. La acidez acumulada supera la capacidad de neutralización del medio y el pH desciende y predomina la oxidación de la pirita por la acción bacteriana. En la reacción se produce el sulfato ferroso que al ser oxidado nuevamente se transforma en sulfato férrico, y éste a su vez en contacto con el agua da lugar al ácido sulfúrico y al hidróxido férrico, que es insoluble y es el que provoca la coloración amarilla de las aguas, en esta etapa disminuye la eficacia del mecanismo directo (oxidación por el aire) y aumenta mucho la del indirecto (Aduvire, 2006).

Figura 8

Etapas en la formación de aguas ácidas



Fuente: (Aduvire, 2006)

3ª etapa. Cuando el pH desciende por debajo de 3 en la proximidad de los granos de pirita (aproximadamente 4,5 en el agua), el ion férrico se ve afectada por las reacciones de oxidación-reducción y la acción bacteriana puede lixiviar el sulfuro de hierro directamente a sulfato. En esta etapa varía la generación de ácido al aumentar la solubilidad del hierro y disminuye la precipitación de hidróxido férrico y en resumen, el *Thiobacillus ferrooxidans* oxida el ion ferroso a férrico que a su vez oxida a los sulfuros (pirita) produciendo más ácido. En este momento se producen grandes cantidades de ácido y se deben tener en cuenta lo siguiente (Aduvire, 2006).

- El mecanismo más importante es el indirecto, ya que es el que se autocataliza (si se inhibe la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* la producción de ácido se reduce al menos en un 75%) (Aduvire, 2006).
- Si el pH del agua sube por encima de 5, igualmente se inhibe la oxidación (Aduvire, 2006).
- Si el pH del agua desciende por debajo de 4,5 debe esperarse que todo el sulfuro de hierro termine oxidándose (Aduvire, 2006).
- Si el pH desciende por debajo de 2,5 se establece un equilibrio en el que la actividad bacteriana se estabiliza, ya que habrá alcanzado su óptimo de desarrollo la velocidad de reacción se habrá incrementado entre 105 y 106 veces respecto al mecanismo directo (Aduvire, 2006).

2.3.7. Toxicad de metales pesados

Cobre

El cobre se presenta en la naturaleza como metal nativo, y también en forma de minerales sulfurados como calcopirita (CuFeS_2), calcosita (Cu_2S) y óxido cuproso (Cu_2O), en concentraciones altas el cobre es tóxico para los organismos, y su efecto es fuerte en plantas y peces, las plantas produce

lesiones en las raíces, inhibe el crecimiento radicular y promueve la formación de raicillas secundarias cortas y de color pardo, también produce clorosis (Pulcha & Valencia, 2019).

Plomo

El plomo es un metal escaso, se calcula en un 0.00002 % de la corteza terrestre, tiene un punto normal de fusión de 327.4 °C, un punto normal de ebullición de 1770 °C y una densidad de 11.35 g/mL. Forma compuestos con los estados de oxidación de Pb+2 y Pb+4, es anfótero por lo que forma sales plumbosas y plúmbicas, así como plumbitos y plumbatos, donde se encuentra en minerales como la galena (sulfuro de plomo, PbS) que se utiliza como fuente de obtención del plomo, la anglosita (sulfato de plomo II, PbSO₄) y la cerusita (carbonato de plomo, PbCO₃), desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos (Pulcha & Valencia, 2019).

Zinc

El Zn es usado extensivamente en capas protectoras y galvanizados para prevenir corrosión y en aleaciones. Es menos tóxico que el Cr y Ni. En los ambientes acuáticos se encuentra como Zn (II), también puede encontrarse en los suelos, y es un nutriente requerido por las plantas para su desarrollo (Pulcha & Valencia, 2019).

El Zn interviene en una variedad de funciones críticas relacionadas con el control de genes, el transporte de oxígeno, proceso fotosintético y el metabolismo enzimático, por otro lado cuando su concentración alcanza un valor umbral, este metal se vuelve primero inhibitorio y luego tóxico causando daños en la producción de clorofila (Pulcha & Valencia, 2019).

2.4. Definición de términos

Adsorción: Adherencia por unión química o física de un contaminante a una superficie sólida.

Bioacumulación: Acumulación progresiva de sustancias tóxicas persistentes en los seres vivos, a través de la cadena alimenticia.

Biodegradación: Descomposición generalmente por la acción de microorganismos o por el sol, en sus componentes orgánicos, en un corto plazo.

Bocamina: Entrada a la galería o pozo de una mina.

Caudal: Es volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado.

DAM: Es la formación de aguas ácidas, ricas en sulfatos y metales pesados. Esto es provocado por la lixiviación de sulfuros metálicos y de la piritita presente en carbones. Esto sucede por dos procesos: oxidación abiótica y oxidación biótica.

Efluentes: Son aguas alteradas con desechos sólidos, líquidos o gaseosos provenientes de viviendas y/o industrias.

Humedal: Es una zona cuya superficie está inundada por agua de forma constante.

Humedal artificial (HA): sistema de tratamiento de aguas residuales que se basa en procesos físicos, químicos y biológicos que se encuentran típicamente en los humedales naturales para tratar un flujo relativamente constante de aguas residuales tratadas.

Remoción: Se utiliza para hacer referencia a todo aquel mecanismo que tenga ver con quitar algo de su lugar.

Humedal de flujo superficial (HFS): humedal artificial que proporciona tratamiento de aguas residuales a través de la floculación y sedimentación durante el flujo a través de plantas acuáticas que crecen de pie en aguas poco profundas y en algunos también hay áreas abiertas donde la biooxidación aeróbica complementa los procesos de eliminación física. Estos sistemas se asemejan a los humedales naturales en la función y la apariencia.

Lixiviación: Extracción de la materia soluble de una mezcla mediante la acción de un disolvente líquido.

pH: Es una medida para determinar el grado de alcalinidad o acidez de una disolución.

Solubilización: Es cuando un compuesto denominado soluto (ya sea sólido, líquido o gaseoso) se disuelve en otro (solvente), es decir, entre los dos pasan a formar una sola fase homogénea (se ve como si solo fuera un solo compuesto).

Sulfuros: Los sulfuros son la combinación de azufre con oxidación -2 con otro elemento químico o con un radical. En la naturaleza este tipo de minerales se forman en las zonas pantanosas y se desprenden también en los gases de algunos volcanes.

Temperatura: Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Eficiencia en la remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.

2.5.2. Hipótesis específicas

- Eficiencia mayor a 24.0% en la remoción de cobre (Cu) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- Eficiencia mayor a 27.5% en la remoción de plomo (Pb) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- Eficiencia mayor a 23.5% en la remoción de zinc (Zn) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- La calidad de los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.

2.6. Variables

2.6.1. Variable independiente:

Sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA).

Indicadores:

- Caudal.
- Temperatura.
- Potencial de hidrogenoides (pH).

2.6.2. Variable dependiente:

Eficiencia de remoción de los metales pesados.

Indicadores:

- Cobre (Cu)
- Plomo (Pb)
- Zinc (Zn)

2.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS METALES PESADOS MEDIANTE EL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL CON <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), PARA EL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS (DAM) EN LA BOCAMINA PODEROSA – HUACHOCOLPA, 2021.						
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad de medida	Instrumento
Independiente: Sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA)	Se definen como humedales artificiales de flujo libre superficial aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera y la mayoría de los humedales naturales son sistemas flujo libre superficiales, entre los que se incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y macrófitas emergentes) (Agency, 2000).	En los humedales de flujo libre superficial el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga y en algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal (Agency, 2000).	Análisis de parámetros físicos y químicos	Tiempo de retención hidráulica (TRH)	Horas	Ficha de observación
				Caudal en el sistema	L/s	Caudalímetro
				Potencial de hidrogeno (pH)	Cantidad de iones de hidrógeno	Multiparametro
				Temperatura	°C	
Dependiente: Eficiencia de remoción de los metales pesados	El proceso de formación del drenaje ácido de mina es un proceso complejo ya que influyen varios procesos físicos, químicos y biológicos, dentro de estos se da la producción, liberación, movilidad y atenuación de los contaminantes (Paucar Garcia, 2018). Donde el D.S. N°010 2010 - MINAM, que define los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas.	Para evaluar la mejora de la calidad del drenaje ácido, se analizaron los siguientes parámetros: Parámetros químicos (metales pesados), evaluados con una frecuencia, barrido total de iones metálicos a través del método de espectrometría de masas, con una frecuencia semestral, durante un mes (Paucar, 2018).	Análisis de Parámetros Químicos	Cu	mg/l	Espectrofotómetro de Absorción atómica
				Pb	mg/l	
				Zn	mg/l	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito temporal y espacial

3.1.1. Ámbito temporal

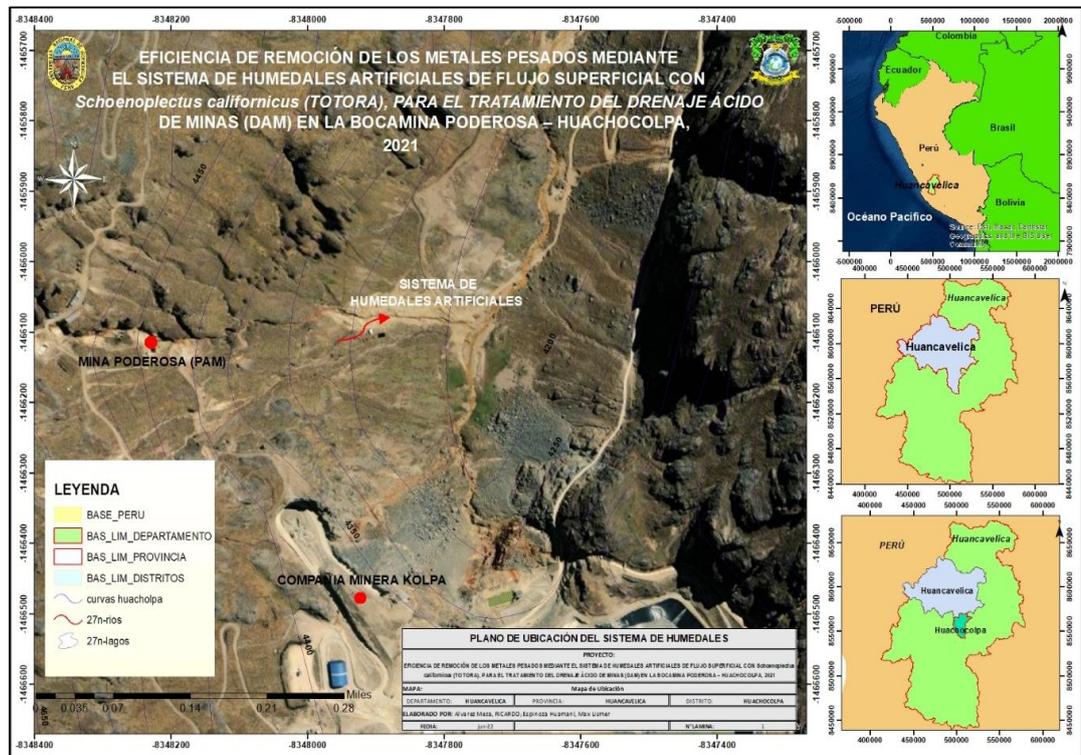
El proyecto de investigación se ejecutó dentro de una única temporada (Estación húmeda) durante los siguientes meses de noviembre, diciembre del 2021 y enero, febrero, marzo, abril y mayo del 2022, la reconstrucción y su posterior realización del presente proyecto de investigación fue a metros del punto de vertimiento del drenaje ácido de mina en la bocamina Poderosa – Huachocolpa.

3.1.2. Ámbito espacial

El estudio se realizará en la parte baja de la bocamina Poderosa, ubicado en el distrito de Huachocolpa, provincia y departamento de Huancavelica con coordenadas este 500698.05 m E y norte 8556690.00 m S.

Figura 9

Ámbito espacial del proyecto de investigación



Nota: En lo siguiente se da a mostrar el plano de ubicación del sistema de humedales. Fuente: Elaboración propia con base de datos de Google Earth. (2022).

3.2. Tipo de investigación

La investigación del tipo aplicada como también recibe el nombre de práctica o empírica, tiene la finalidad primordial la resolución de problemas prácticos, que se encuentra vinculado con la investigación básica guardando relación según los descubrimientos y avances de dicha investigación de los cuales se enriquece de ellos. En la investigación aplicada y/o empírica, lo que en realidad se debería interesar el investigador, específicamente, son los resultados prácticos que pudiese lograr a lo cual la investigación busca conocer para hacer y para actuar (Gonzales, Oseda, Ramirez, & Gave, 2014).

Al respecto, en las ciencias puras y la investigación básica se busca indagar cómo funcionan las cosas para un uso posterior, mientras en las ciencias prácticas la investigación aplicada tiene como propósito hacer un uso inmediato del conocimiento, según la situación dada o deficitaria que puede ser mejorada (Vargas Z. , 2009).

Este tipo de investigación se realiza con la necesidad de mejorar las características del drenaje ácido de mina (DAM), determinando la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA). Por tanto, la investigación no tiene por finalidad establecer normas y/o leyes, sino al contrario se usan de estos mismos para resolver estos pasivos ambientales mineros.

3.3. Nivel de investigación

La investigación a nivel explicativo tiene la finalidad de explicar el comportamiento de las variables, buscando encontrar las razones o causas que provocan ciertos fenómenos, como su nombre lo indica su interés principal es centrarse en explicar por qué ocurre un fenómeno y como se manifiestan o porque se relacionan dos o más variables; básicamente es establecer la relación de causa y efecto, con la propósito de medir el efecto de las unidades experimentales de la variable dependiente en un determinado área o tiempo (Hernández R. , 2014, págs. 95-96).

3.4. Método de investigación

Método científico: “Es un procedimiento planeado y riguroso que se emplea en la investigación con el propósito de encontrar conocimientos generales, ciertos y comprobables” (Gómez, 2016, p. 82).

Método hipotético – deductivo: En este método, las hipótesis son puntos de partida para nuevas deducciones. Se parte de una hipótesis inferida de principios o leyes o sugerida por los datos empíricos, y aplicando las reglas de la deducción, se arriba a predicciones que se someten a verificación

empírica, y si hay correspondencia con los hechos, se comprueba la veracidad o no de la hipótesis de partida. Incluso, cuando de la hipótesis se arriba a predicciones empíricas contradictorias, las conclusiones que se derivan son muy importantes, pues ello demuestra la inconsistencia lógica de la hipótesis de partida y se hace necesario reformularla (Rodríguez A. , 2017).

Método experimental:

“El método experimental se fundamenta en el método científico y utilizar como procesos lógicos la inducción y la deducción. Consiste en realizar actividades con la finalidad de comprobar, demostrar o reproducir ciertos fenómenos hechos o principios en forma natural o artificial, de tal forma que permita establecer experiencias para formular hipótesis que permitan a través del proceso científico conducir a generalizaciones científicas, que pueden verificarse en hechos concretos en la vida diaria” (Oseda, 2008).

Tipos de experimentación que se llevaron a cabo son:

- **El estudio de métodos:** los cuales hacen comparaciones imparciales sobre dos o más formas de realizar algo.
- **La investigación fundamental:** propone derivar principios generales aplicables más allá de una situación inmediata.

Ambos son necesarios dentro de los experimentos, generalmente se llevan a cabo en el laboratorio o situación de campo a lo que el experimento de laboratorio, es el proceder más conocimientos acerca de la predicción y control de hechos, donde las variables pueden controlarse hasta cierto límite. (Gonzales, Oseda, Ramirez, & Gave, 2014, p. 91)

3.5. Población, Muestra, Muestreo

3.5.1. Población

“Es un grupo y/o conjunto de personas u objetos de los cuales se pretende establecer algo significativo en una investigación” (López P. , 2004)

La población de la investigación es el drenaje ácido de mina que proviene de la bocamina Poderosa con un caudal de 0.1L/s

3.5.2. Muestra

“La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

La muestra es no probabilística con un caudal de ingreso de 0.035L/s al sistema del humedal artificial, extraídos del efluente de la bocamina Poderosa de un 0.1L/s.

3.5.3. Muestreo

“Es el método utilizado para seleccionar a los componentes de la muestra del total de la población” (López P. , 2004)

El método aplicado es no probabilístico donde las características de la investigación no dependen de la probabilidad, sino que depende del proceso de toma de decisiones de los investigadores (Hernández, Fernández, & Baptista (2014).

Por lo tanto, en la investigación para trabajar el análisis de los parámetros los cuales nos ayuden a determinar de la remoción mediante el sistema, las muestras las cuales serán tomadas tanto en el afluente y efluente del sistema de tratamiento. Se utilizará la guía: “Protocolo de monitoreo de calidad de agua – Sub-sector minería” para ello se recolectó 500 ml del afluente y 500 ml del efluente, ambos etiquetados para su adecuada identificación y análisis de los parámetros físicos (Caudal, pH y Temperatura) y químicos (Cu, Pb y Zn). Serán analizados en el laboratorio de la ciudad de Huancayo: “RCJ LABS UNIVERSAL”

- 20 muestras de afluente del sistema humedal para el análisis correspondiente de metales pesados (Cu, Pb y Zn).

- 20 muestras de efluente del sistema humedal para el análisis correspondiente de metales pesados (Cu, Pb y Zn).

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos ha sido la observación, a través de instrumentos y equipos de medición, obteniendo información de campo como de laboratorio, se registra en una ficha (Carrillo, 2011).

Tabla 2

Técnicas e instrumentos

PARÁMETROS/METODOLOGÍA	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Caudal	Volumetría/Aforo	Caudalímetro
Temperatura	Estándar	Multiparametro
pH	Potenciométrica	Multiparametro
Cu	Analítica	Espectrofotómetro de absorción atómica
Pb	Analítica	Espectrofotómetro de absorción atómica
Zn	Analítica	Espectrofotómetro de absorción atómica

Fuente: Elaboración propia

3.6.1. Descripción del proceso de muestreo

Para realizar las muestras ya sean útiles y representativas es necesario establecer atención a los protocolos detallados y/o estandarizados. Las muestras nos ayudaran a determinar la eficiencia en cuanto al manejo de agua. De esta forma tenemos una serie de pasos a seguir: Preparación, observación, toma de muestras, mediciones de campo, conservación de muestras y el rotulado y embarque de estas (Broughton, 1993).

Figura 10

Lavado de botellas y aplicaciones de solución preservante

Parámetro	Recipiente	Proc. de Lavado	Preservación Temp. Química	Almacenamiento Máximo
Físicos y mayoría de los iones principales	100 mL polietileno	Lavado ácido	ninguna 4 C.	24h
Especies de nitrógeno, carbono orgánico amoniaco	250 mL polietileno	Lavado ácido	Ninguna 4 C.	24h
Fósforo total	Vaso de 250 mL	Lavado ácido	Ninguna 4 C.	1 mes
Plata	250 mL polietileno (ámbar)	Lavado ácido	0,4 g disodio EDTA/100mL 4 C.	10 días
Mercurio	Vaso de 100 mL	Lavado ácido	H ₂ SO ₄ , K ₂ Cr ₂ O ₇	1 mes
Metales totales	500 mL polietileno	Lavado ácido	pH 2 con HNO ₃ 4 C.	6 meses
Metales disueltos	500 mL polietileno	Lavado ácido	pH 2 con HNO ₃	

Fuente: “PROTOCOLO DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA-Sub sector minería-MINEM”

Nota: A menos que se establezca de otro modo, por el termino lavado de ácidos se entenderá la siguiente secuencia de lavado: enjuague 3 veces con agua limpia, filtrada o agua destilada, enjuague 1 vez con ácido crómico, luego enjuague 3 veces con agua, 1 vez con ácido nítrico y finalmente, con agua destilada.

Para la toma de muestras de parámetros tanto físicos como químicos el volumen de muestra requerido para su análisis dependerá del parámetro y del laboratorio en el cual se hará su análisis. En general, para aguas superficiales que provienen de una estación de muestreo son suficiente tres tipos de recipientes (Broughton, 1993).

Ph y temperatura:

“Un recipiente de 1L de muestra no filtrada, no preservada, para el análisis de parámetros físicos y la mayoría de los iones principales” (Broughton, 1993).

Metales pesados (Cu, Pb, Zn):

“Un recipiente de 500 ml de muestra no filtrada, no preservada, para el análisis de metales totales” (Broughton, 1993).

3.6.2. Descripción para la determinación del análisis de los parámetros de laboratorio.

La técnica de espectrofotometría de absorción atómica (AA) se fundamenta principalmente en la absorción de la energía radiante que emitan de los átomos en un estado esencial. La muestra líquida la cual contiene la materia que se va analizar llega a un mechero quemador en el que se da lo que conoces por atomización, es necesario que cuando se hace pasar a través de la nube atómica formada por una emisión electromagnética en la longitud de onda característica de los átomos presentes se produce una absorción que es proporcional a la concentración de átomos (Chávez, 2011).

La espectrofotometría de absorción atómica (AA) se puede ejecutar por 4 técnicas distintas:

- De llama.
- De cama de grafito.
- Con cámara de Hidruros.
- Por vapor frío.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

3.7.1. Trabajo in situ

Los trabajos en campo que se realizó fue en llevar un control de los parámetros físicos (Caudal, Ph y temperatura), asimismo se evaluó el correcto funcionamiento del sistema de humedales artificiales, las cuales puedan interferir u/o alterar las características del drenaje ácido de mina, asimismo se realizó los monitoreos correspondientes tanto en el afluente y efluente para su posterior análisis en el laboratorio.

3.7.2. Trabajo de laboratorio

Se realizó la determinación de los metales pesados (Cu, Pb y Zn) mediante el equipo de espectrofotómetro de absorción atómica en el laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica; donde la

información recopilada fue procesada para determinar la eficiencia de remoción de los metales mediante el sistema de humedales artificiales.

3.7.3. Análisis de datos

A partir de criterios para determinar la eficiencia del sistema se manejó la conocida estadística descriptiva y como prueba de contrastación la distribución de T- Student con un nivel de confiabilidad del 95%, tanto al inicio y final de la prueba de tratamiento de drenaje ácido. Se ejecuto el análisis de nuestros datos procesados como también haciendo la comparación con el D.S. N° 010-2010 - MINAM los cuales aprueban los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos, valorando de manera que los parámetros logren cumplir con dicha norma y que próximos proyectos consideren esta investigación como parte inicial.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación y análisis de datos

Los datos obtenidos para esta investigación:

Parámetros de campo

- pH
- T (°C)
- Q (l/s)

Parámetros de laboratorio.

- Plomo (Pb).
- Cobre (Cu).
- Zinc (Zn).

El volumen efectivo para el drenaje ácido de mina (DAM) en el humedal artificial es de 1.848 m³, con un tiempo de retención hidráulico de 14.67 horas aproximadamente.

Mostrar los resultados los cuales están relacionados directamente con los objetivos en términos de eficiencia para los parámetros químicos: Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Zinc (Zn), de igual manera el último objetivo el cual evaluó la calidad del efluente en función del acatamiento para los parámetros químicos para el LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. D.S. N°010 2010- MINAM, Los cumplimientos de estos objetivos específicos presentados anteriormente permitirán determinar si son o no eficientes los humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento de aguas ácidas de mina (DAM) en la bocamina poderosa – Huachocolpa – 2021, El proceso de obtención de datos constituye de 20 monitoreos dentro de 3 meses tanto en la entrada (afluente), y salida (efluente), con un tiempo de retención hidráulica de 14.67 horas.

❖ **Eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (Totora), para el tratamiento de drenaje ácido de mina (DAM) en la bocamina poderosa – Huachocolpa – 2021.**

La eficiencia está relacionada básicamente entre el recurso utilizado para determinar más objetivos por el mismo; todo esto conduciendo a los objetivos o fines deseados. Partiendo de esta teoría la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (Totora), para el tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM) en la bocamina poderosa – Huachocolpa – 2021, buscando una eficiencia a nuestros objetivos trazados; lo cual se calculó la eficiencia en remoción de parámetros tanto influentes y efluentes del sistema desarrollado.

Manera que nuestros resultados alcanzados de eficiencias, también los resultados de calidad del drenaje ácido del efluente, proseguimos a diferir nuestras hipótesis, aceptar o rechazar la hipótesis general, “El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus*

californicus (TOTORA), son eficientes en cuanto a la remoción de metales pesados para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021” tal derivación corresponderá con cumplir todas las hipótesis específicas.

Fórmula para establecer la eficiencia interna del sistema en términos de remoción en parámetros físico-químicos:

- Primero: establecer el factor de eficiencia que consiste en la factorización de la fórmula hallado solo para facilitar el ingreso de datos en las hojas de cálculo Microsoft Excel.

* Fórmula de la eficiencia:

$$E (\%) = \left(\frac{\text{Afluentes} - \text{Efluentes}}{\text{Afluentes}} \right) * 100$$

E (%): Eficiencia

Afluentes: Carga contaminante

Efluentes: Carga contaminante

* Factorizar

$$E (\%) = \left(\frac{\text{Afluente}}{\text{Afluente}} - \frac{\text{Efluente}}{\text{Afluente}} \right) * 100$$

$$E (\%) = \left(1 - \frac{\text{Efluente}}{\text{Afluente}} \right) * 100$$

$$E (\%) = 100 - 100 * \frac{\text{Efluente}}{\text{Afluente}}$$

* Donde el factor viene a ser:

$$\text{Factor} = 100 * \frac{\text{Efluente}}{\text{Afluente}}$$

- Segundo: Calcular la eficiencia

Volver a instar, a determinar el factor el cual facilita el ingreso de datos.

$$E(\%) = 100 - Factor$$

Manera que determinamos el porcentaje de remoción de parámetros químicos: cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn), como se muestra a continuación:

- a) la eficiencia de remoción del cobre (Cu) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.**

Tabla 3

Eficiencia de remoción del cobre (Cu)

Cobre (Cu)						
Nº de monitoreo	Código	Fecha	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Factor	Eficiencia %
1	A1-A2	01/03/2022	298.7	129.1	43.2	56.80
2	A3-A4	04/03/2022	277.3	125.2	45.1	54.85
3	B1-B2	08/03/2022	303.4	125.3	41.3	58.69
4	B3-B4	11/03/2022	277.5	122.8	44.2	55.77
5	C1-C2	15/03/2022	275.7	129.1	46.8	53.18
6	C3-C4	18/03/2022	266.4	110.4	41.4	58.56
7	D1-D2	22/03/2022	271.0	120.3	44.4	55.60
8	D3-D4	25/03/2022	269.4	124.0	46.0	53.99
9	E1-E2	29/03/2022	286.2	130.4	45.6	54.43
10	E3-E4	01/04/2022	270.5	120.6	44.6	55.42
11	F1-F2	05/04/2022	271.9	137.9	50.7	49.29
12	F3-F4	08/04/2022	294.8	112.7	38.2	61.79
13	G1-G2	12/04/2022	297.2	109.4	36.8	63.19
14	G3-G4	15/04/2022	280.8	115.5	41.1	58.87
15	H1-H2	19/04/2022	282.8	103.1	36.4	63.56
16	H3-H4	22/04/2022	273.9	132.0	48.2	51.81
17	I1-I2	26/04/2022	293.6	128.2	43.7	56.34
18	I3-I4	29/04/2022	275.2	122.5	44.5	55.49

19	J1-J2	03/05/2022	285.6	103.6	36.3	63.74
20	J3-J4	06/05/2022	270.2	105.5	39.0	60.97
Xt			281.1	120.4	42.9	57.12

Nota: Xt = Promedio total.

Presentamos la tabla 3, eficiencia en remoción del parámetro Químico: Cobre (Cu), los 20 monitoreos en los meses de marzo, abril y mayo. Obteniendo como resultado que el sistema de humedales artificiales, es eficiente con un promedio de 57.12 %, de remoción del cobre, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.

b) la eficiencia de remoción del plomo (Pb) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.

Tabla 4

Eficiencia de remoción del plomo (Pb)

N°	Código	Fecha	Plomo (Pb)		Factor	Eficiencia %
			Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)		
1	A1-A2	01/03/2022	0.50	0.25	49.60	50.40
2	A3-A4	04/03/2022	0.50	0.22	44.00	56.00
3	B1-B2	08/03/2022	0.50	0.22	43.31	56.69
4	B3-B4	11/03/2022	0.53	0.23	43.10	56.90
5	C1-C2	15/03/2022	0.46	0.20	43.26	56.74
6	C3-C4	18/03/2022	0.40	0.19	47.50	52.50
7	D1-D2	22/03/2022	0.45	0.22	48.56	51.44
8	D3-D4	25/03/2022	0.49	0.24	48.68	51.32
9	E1-E2	29/03/2022	0.48	0.23	49.26	50.74
10	E3-E4	01/04/2022	0.45	0.21	46.67	53.33
11	F1-F2	05/04/2022	0.46	0.25	55.16	44.84
12	F3-F4	08/04/2022	0.47	0.25	52.53	47.47
13	G1-G2	12/04/2022	0.52	0.23	43.52	56.48
14	G3-G4	15/04/2022	0.51	0.20	39.22	60.78
15	H1-H2	19/04/2022	0.49	0.22	45.10	54.90
16	H3-H4	22/04/2022	0.51	0.27	52.05	47.95
17	I1-I2	26/04/2022	0.54	0.24	44.94	55.06
18	I3-I4	29/04/2022	0.46	0.20	43.04	56.96
19	J1-J2	03/05/2022	0.48	0.21	43.60	56.40
20	J3-J4	06/05/2022	0.51	0.19	38.19	61.81

Xt	0.5	0.2	46.1	53.93
-----------	-----	-----	------	-------

Nota: Xt = Promedio total.

Presentamos la tabla 4, eficiencia en remoción del parámetro Químico: Plomo (Pb), los 20 monitoreos en los meses de marzo, abril y mayo. Obteniendo como resultado que el sistema de humedales artificiales, es eficiente con un promedio de 53.93 %, de remoción del plomo, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.

c) la eficiencia de remoción del zinc (Zn) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.

Tabla 5

Eficiencia de remoción del zinc (Zn)

N° de monitoreo	Código	Fecha	Zinc (Zn)		Factor	Eficiencia %
			Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)		
1	A1-A2	01/03/2022	2728.5	1145.0	42.0	58.04
2	A3-A4	04/03/2022	2750.0	1125.0	40.9	59.09
3	B1-B2	08/03/2022	2647.5	1098.0	41.5	58.53
4	B3-B4	11/03/2022	2492.0	1098.0	44.1	55.94
5	C1-C2	15/03/2022	2488.5	1139.5	45.8	54.21
6	C3-C4	18/03/2022	2450.0	1115.0	45.5	54.49
7	D1-D2	22/03/2022	2326.0	1008.5	43.4	56.64
8	D3-D4	25/03/2022	2377.0	1058.5	44.5	55.47
9	E1-E2	29/03/2022	2477.5	1119.5	45.2	54.81
10	E3-E4	01/04/2022	2350.0	1110.0	47.2	52.77
11	F1-F2	05/04/2022	2371.5	1183.0	49.9	50.12
12	F3-F4	08/04/2022	2539.5	995.5	39.2	60.80
13	G1-G2	12/04/2022	2614.5	965.5	36.9	63.07
14	G3-G4	15/04/2022	2520.0	945.0	37.5	62.50
15	H1-H2	19/04/2022	2490.0	878.5	35.3	64.72
16	H3-H4	22/04/2022	2432.5	1156.5	47.5	52.46
17	I1-I2	26/04/2022	2653.5	1146.5	43.2	56.79
18	I3-I4	29/04/2022	2470.0	1100.0	44.5	55.47
19	J1-J2	03/05/2022	2504.5	888.5	35.5	64.52

20	J3-J4	06/05/2022	2444.0	875.5	35.8	64.18
Xt		2506.4	1057.6	42.3	57.73	

Nota: Xt = Promedio total.

Se observa en la tabla 6, la eficiencia de remoción del parámetro Químico: Zinc (Zn) en los 20 monitoreos en los meses de marzo, abril y mayo. Obteniendo como resultado que el sistema de humedales artificiales, es eficiente con un promedio de 57.7 %, de remoción del zinc, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.

d) Evaluar la calidad de los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA) en comparación al Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.

Tabla 6

Estadística descriptiva - parámetros fisicoquímicos

Sistema de humedales artificiales con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA)						
Evaluación de parámetros químicos	Und.	fi	Medias Punta entrada Afluyente	Medias Punta entrada Efluente	D.S N° 010-2010-MINAM. LMP	Cumple con los LMP Sí/No
pH	Unidad	40	3.67	4.01	6 a 9	No
Cobre	mg/L	40	281.1	120.4	0.5	No
Plomo	mg/L	40	0.49	0.22	0.2	No
Zinc	mg/L	40	2506.4	1057.6	1.5	No

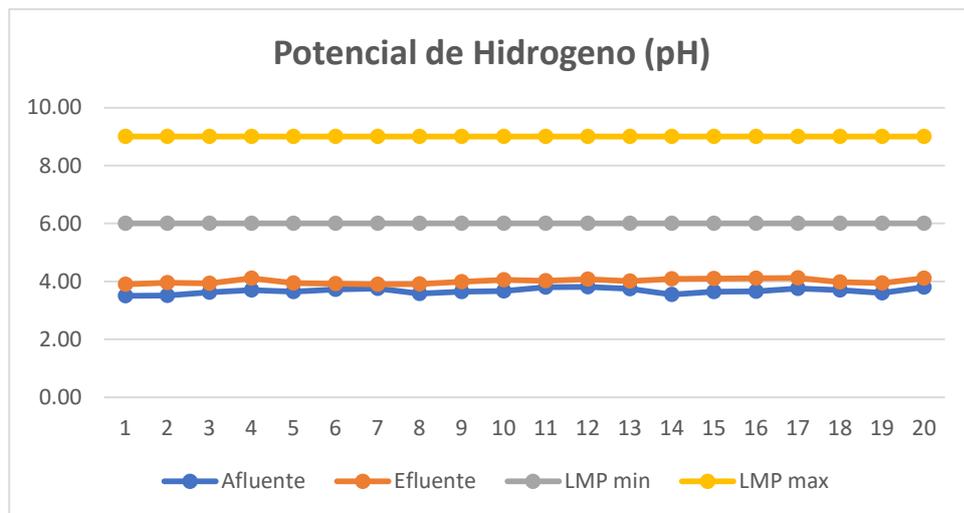
Nota: Und = Unidad de medida; fi= Numero de datos procesados.

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Los datos obtenidos en pH (efluente) fueron 4.01 por ende no se encuentran dentro de los LMP, el cual oscila entre 6 a 9 (figura 11).

Figura 11

Comparación de Ph del drenaje acido de minas (DAM) tratado y LMP

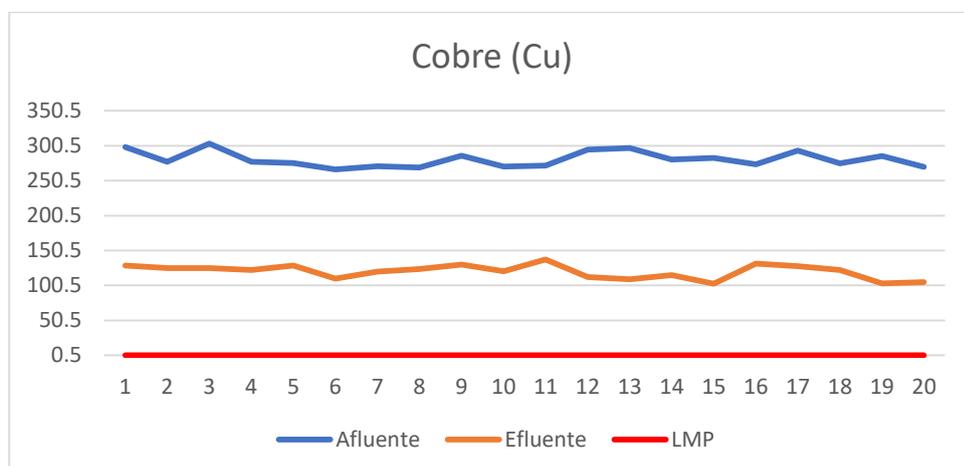


- **Cobre (Cu)**

El resultado del Cu del agua tratada (efluente) fue de 120.4 por lo que no se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, cuyo valor oscila en 0.5 (ver figura 12).

Figura 12

Comparación de Cu del drenaje acido de minas (DAM) tratado y LMP

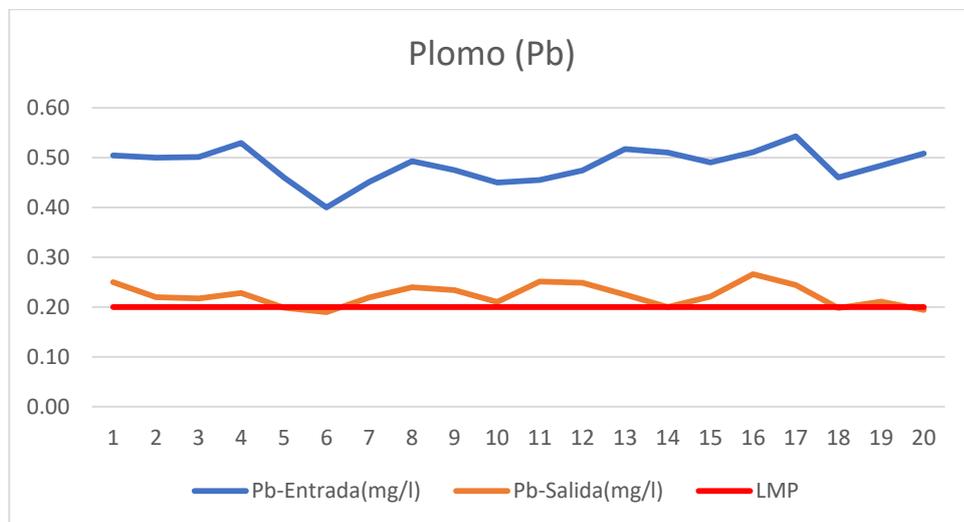


- **Plomo (Pb)**

El resultado del Pb del agua tratada (efluente) fue de 0.22 por lo se encuentran fuera de los límites máximos permisibles, cuyo valor oscila en 0.2 (ver figura 13).

Figura 13

Comparación de Pb del drenaje acido de minas (DAM) tratado y LMP



- **Zinc (Zn)**

El resultado del Zn del agua tratada (efluente) fue de 1057.6 por lo que se encuentran considerablemente fuera de los límites máximos permisibles, cuyo valor oscila en 1.5 (ver figura 14).

Figura 14

Comparación de Zn del drenaje acido de minas (DAM) tratado y LMP

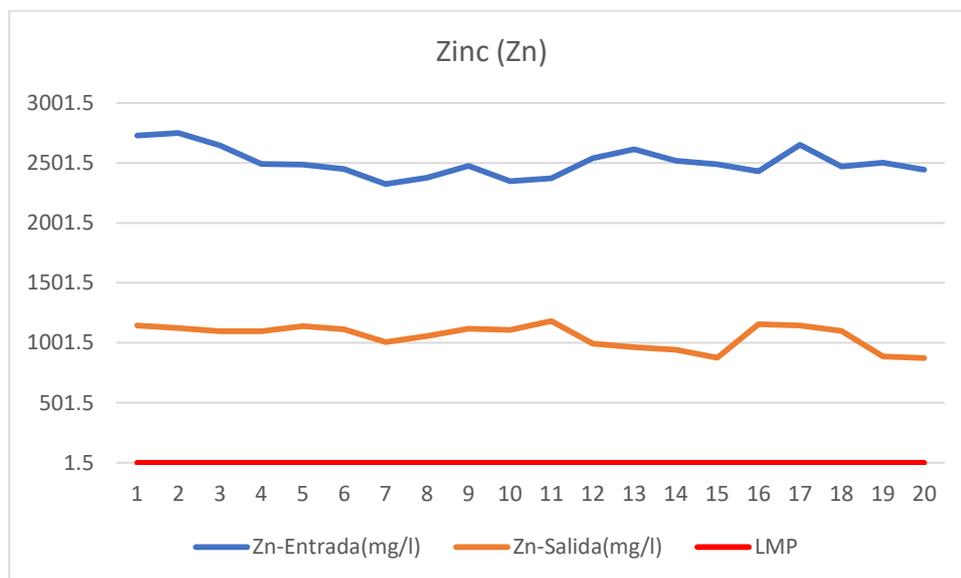


Tabla 7

Estadística descriptiva de los datos analizados

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA										
Ubicación	Parámetro	Unid.	Cantidad muestras	Media	Mediana	Moda	Valor Max	Valor Min	Varianza	Desviación estándar
Afluyente	pH	pH	20	3.67	3.67	3.65	3.81	3.50	0.01	0.09
	Temperatura	°C	20	10.89	10.55	10.40	12.30	10.20	0.39	0.63
	Cu	mg/L	20	281.11	277.40	270.50	303.35	266.40	118.38	10.88
	Pb	mg/L	20	0.49	0.49	0.46	0.54	0.40	0.00	0.03
	Zn	mg/L	20	2501.05	2489.25	2371.50	2750.00	2326.00	14370.87	119.88
Efluente	pH	pH	20	4.01	4.00	4.11	4.12	3.90	0.01	0.08
	Temperatura	°C	20	10.85	10.65	10.30	12.30	10.00	0.44	0.67
	Cu	mg/L	20	120.36	122.63	129.05	137.85	103.05	96.63	9.83
	Pb	mg/L	20	0.22	0.22	0.23	0.27	0.19	0.00	0.02
	Zn	mg/L	20	1057.58	1099.00	1098.00	1183.00	875.50	9424.71	97.08

Fuente: *Elaboración propia*

❖ **Análisis e interpretación de los datos con la estadística descriptiva**

Interpretación de la tabla 8:

- * Los resultados obtenidos resaltan la utilidad de implementar los humedales para tratar aguas con pH bajos (El menor estudiado fue pH 3.5) y con presencia de metales pesados en la bocamina estudiada, por tal motivo puede ser una opción de tratamiento de fácil operación y bajo coste, lo cual se logró tratar hasta llegar a un pH de 3.81 lo cual no se encuentra dentro de lo admisible.
- * La temperatura es un factor importante en los procesos que se llevan a cabo en los sistemas físico-biológicos. En los humedales la capacidad de remoción de los contaminantes está delimitada por factores ambientales. El objetivo fue determinar el efecto y rangos de la temperatura del agua en el humedal de flujo superficial reconstruido (HFSRC) para la remoción de contaminantes en drenaje ácidos de mina.
- * En cuanto a la media de pH existe una diferencia de 0.34 entre el afluente y efluente del sistema lo cual indica una eficiencia en cuanto al aumento del potencial de hidrogeno. De la misma forma en la temperatura tan solo existe una variación de 0.04 por el mismo hecho de que el proyecto se realiza en un mismo lugar y la toma de datos está dentro de 3 meses.
- * El valor de mayor frecuencia en el afluente de pH es 3.81 lo cual indica una acides considerable lo cual por medio del sistema se logró llegar a 4.12 aunque no se encuentre dentro de lo permisible se ve una eficiencia considerable. Y la temperatura se mantuvo en cuanto a este aspecto entre 12.30 °C.
- * La varianza de los datos del efluente de pH con un valor de 0.01 lo cual es considerado un valor esperado y de igual manera del afluente del sistema con un valor de 0.011.
- * Una desviación estándar baja indica que la mayor parte de los datos de una muestra tienden a estar agrupados cerca de su media (también denominada el valor esperado), mientras que una desviación

estándar alta indica que los datos que se extienden sobre un rango de valores más amplio.

❖ **Distribución de frecuencias**

Temperatura (°C)

Tabla 8

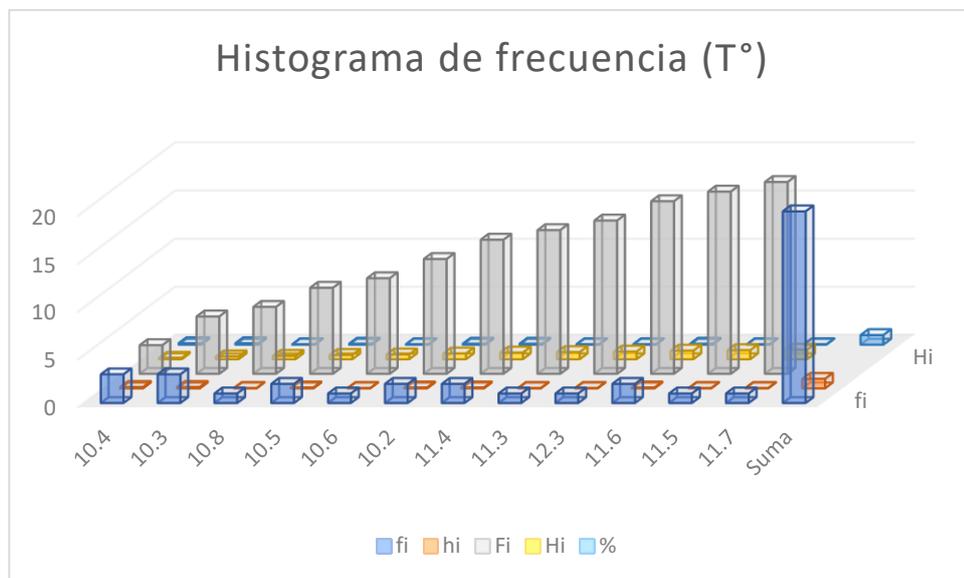
Distribución de frecuencia de la temperatura (Afluente)

T°	fi	hi	Fi	Hi	%
Afluente					
10.4	3	0.15	3	0.15	15%
10.3	3	0.15	6	0.30	15%
10.8	1	0.05	7	0.35	5%
10.5	2	0.10	9	0.45	10%
10.6	1	0.05	10	0.50	5%
10.2	2	0.10	12	0.60	10%
11.4	2	0.10	14	0.70	10%
11.3	1	0.05	15	0.75	5%
12.3	1	0.05	16	0.80	5%
11.6	2	0.10	18	0.90	10%
11.5	1	0.05	19	0.95	5%
11.7	1	0.05	20	1	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 15

Histograma de frecuencia de la temperatura afluyente



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer que temperaturas de 10.3 y 10.4 °C tienen mayor presencia de un total de 6 datos diferentes y esto ayuda a ver la temperatura en el afluente y ser considerado.

Tabla 9

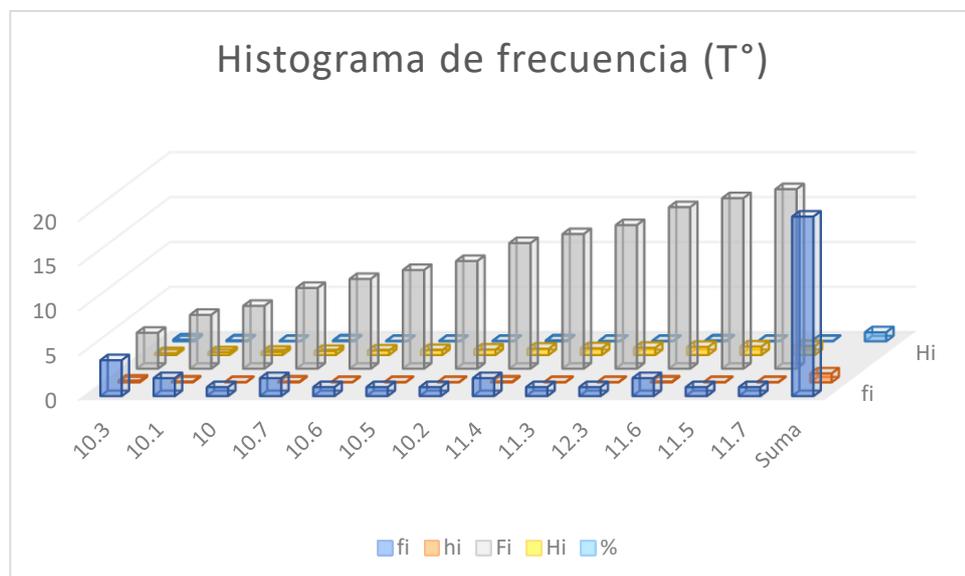
Distribución de frecuencia de la temperatura (Efluente)

T° Efluente	fi	hi	Fi	Hi	%
10.3	4	0.20	4	0.20	20%
10.1	2	0.10	6	0.30	10%
10	1	0.05	7	0.35	5%
10.7	2	0.10	9	0.45	10%
10.6	1	0.05	10	0.50	5%
10.5	1	0.05	11	0.55	5%
10.2	1	0.05	12	0.60	5%
11.4	2	0.10	14	0.70	10%
11.3	1	0.05	15	0.75	5%
12.3	1	0.05	16	0.80	5%
11.6	2	0.10	18	0.90	10%
11.5	1	0.05	19	0.95	5%
11.7	1	0.05	20	1	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 16

Histograma de frecuencia de la temperatura efluente



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer que temperatura de 10.30 °C tienen mayor presencia de un total de 4 datos diferentes y esto ayuda a ver la temperatura en el efluente y ser considerado.

Potencial de hidrogeno (pH)

Tabla 10

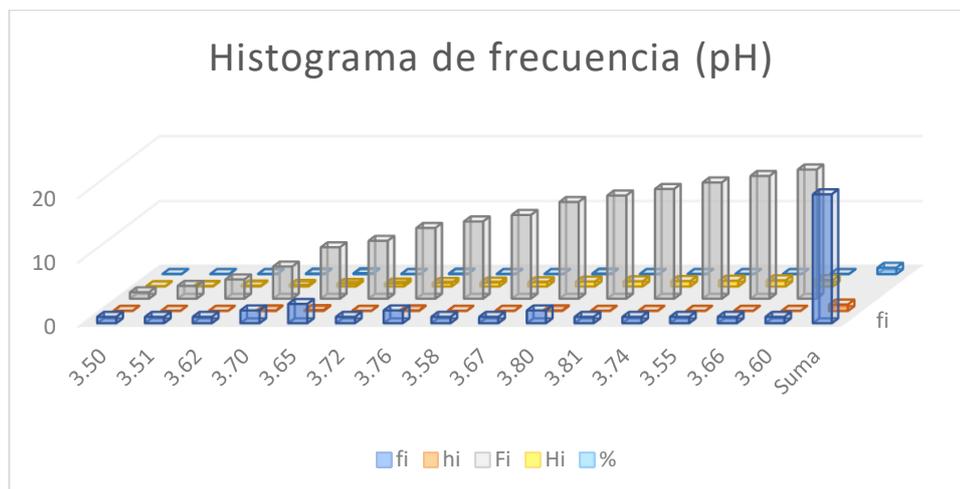
Distribución de frecuencia de la potencial de hidrogeno (Afluente)

pH Afluente	fi	hi	Fi	Hi	%
3.50	1	0.05	1	0.05	5%
3.51	1	0.05	2	0.10	5%
3.62	1	0.05	3	0.15	5%
3.70	2	0.10	5	0.25	10%
3.65	3	0.15	8	0.40	15%
3.72	1	0.05	9	0.45	5%
3.76	2	0.10	11	0.55	10%
3.58	1	0.05	12	0.60	5%
3.67	1	0.05	13	0.65	5%
3.80	2	0.10	15	0.75	10%
3.81	1	0.05	16	0.80	5%
3.74	1	0.05	17	0.85	5%
3.55	1	0.05	18	0.90	5%
3.66	1	0.05	19	0.95	5%
3.60	1	0.05	20	1.00	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 17

Histograma de frecuencia de la potencial de hidrogeno (Afluente)



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer pH de 3.65 tienen mayor presencia de un total de 3 datos diferentes y esto ayuda a ver la concentración en el afluente.

Tabla 11

Distribución de frecuencia de la potencial de hidrogeno (Efluente)

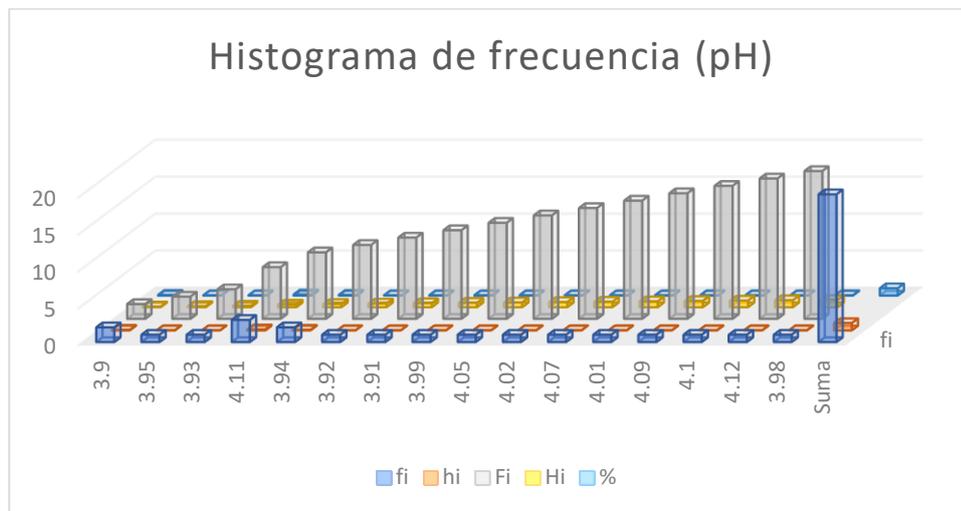
pH Efluente	fi	hi	Fi	Hi	%
3.9	2	0.10	2	0.10	10%
3.95	1	0.05	3	0.15	5%
3.93	1	0.05	4	0.20	5%
4.11	3	0.15	7	0.35	15%
3.94	2	0.10	9	0.45	10%
3.92	1	0.05	10	0.50	5%
3.91	1	0.05	11	0.55	5%
3.99	1	0.05	12	0.60	5%
4.05	1	0.05	13	0.65	5%
4.02	1	0.05	14	0.70	5%
4.07	1	0.05	15	0.75	5%
4.01	1	0.05	16	0.80	5%
4.09	1	0.05	17	0.85	5%
4.1	1	0.05	18	0.90	5%
4.12	1	0.05	19	0.95	5%

3.98	1	0.05	20	1.00	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 18

Histograma de frecuencia de la potencial de hidrogeno (Efluente)



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer pH de 4.11 tienen mayor presencia de un total de 3 datos diferentes y esto ayuda a ver la concentración en el efluente.

Cobre (Cu)

Tabla 12

Distribución de frecuencia de cobre en el Afluente

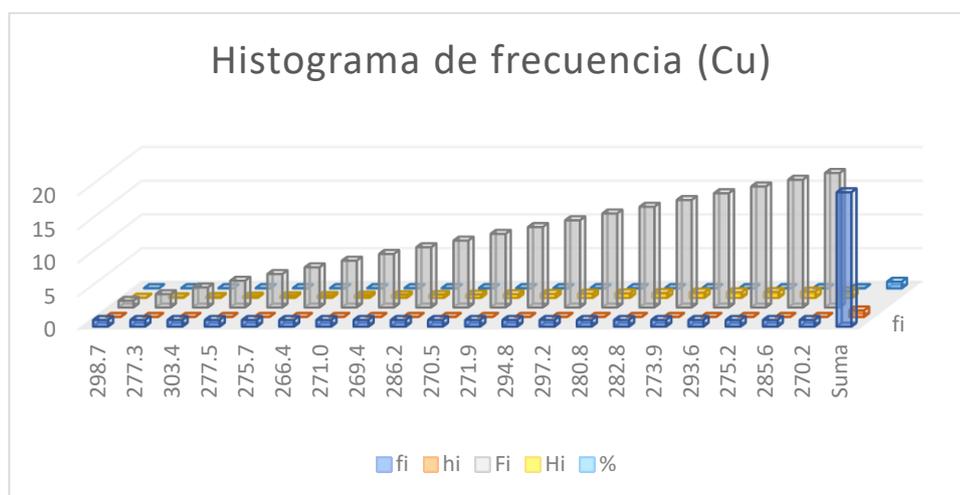
Cu Afluente	fi	hi	Fi	Hi	%
298.7	1	0.05	1	0.05	5%
277.3	1	0.05	2	0.1	5%
303.4	1	0.05	3	0.15	5%
277.5	1	0.05	4	0.2	5%
275.7	1	0.05	5	0.25	5%
266.4	1	0.05	6	0.3	5%
271.0	1	0.05	7	0.35	5%
269.4	1	0.05	8	0.4	5%
286.2	1	0.05	9	0.45	5%
270.5	1	0.05	10	0.5	5%

271.9	1	0.05	11	0.55	5%
294.8	1	0.05	12	0.6	5%
297.2	1	0.05	13	0.65	5%
280.8	1	0.05	14	0.7	5%
282.8	1	0.05	15	0.75	5%
273.9	1	0.05	16	0.8	5%
293.6	1	0.05	17	0.85	5%
275.2	1	0.05	18	0.9	5%
285.6	1	0.05	19	0.95	5%
270.2	1	0.05	20	1	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 19

Histograma de frecuencia de cobre en el afluente



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer las concentraciones de Cu tienen una frecuencia absoluta similares en el afluente de sistema.

Tabla 13

Distribución de frecuencia de cobre en el efluente

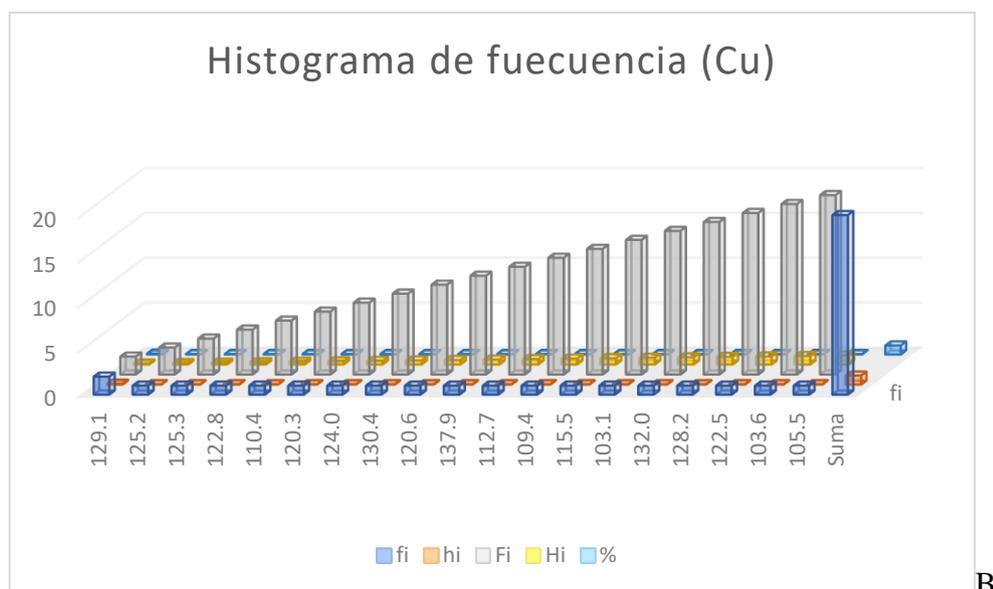
Cu Efluente	fi	hi	Fi	Hi	%
129.1	2	0.10	2	0.10	10%
125.2	1	0.05	3	0.15	5%
125.3	1	0.05	4	0.20	5%

122.8	1	0.05	5	0.25	5%
110.4	1	0.05	6	0.30	5%
120.3	1	0.05	7	0.35	5%
124.0	1	0.05	8	0.40	5%
130.4	1	0.05	9	0.45	5%
120.6	1	0.05	10	0.50	5%
137.9	1	0.05	11	0.55	5%
112.7	1	0.05	12	0.60	5%
109.4	1	0.05	13	0.65	5%
115.5	1	0.05	14	0.70	5%
103.1	1	0.05	15	0.75	5%
132.0	1	0.05	16	0.80	5%
128.2	1	0.05	17	0.85	5%
122.5	1	0.05	18	0.90	5%
103.6	1	0.05	19	0.95	5%
105.5	1	0.05	20	1	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 20

Histograma de frecuencia de cobre en el efluente



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer la concentración de Cu de 129.1 mg/l tiene una frecuencia absoluta mayor en el efluente de sistema.

Plomo (Pb)

Tabla 14

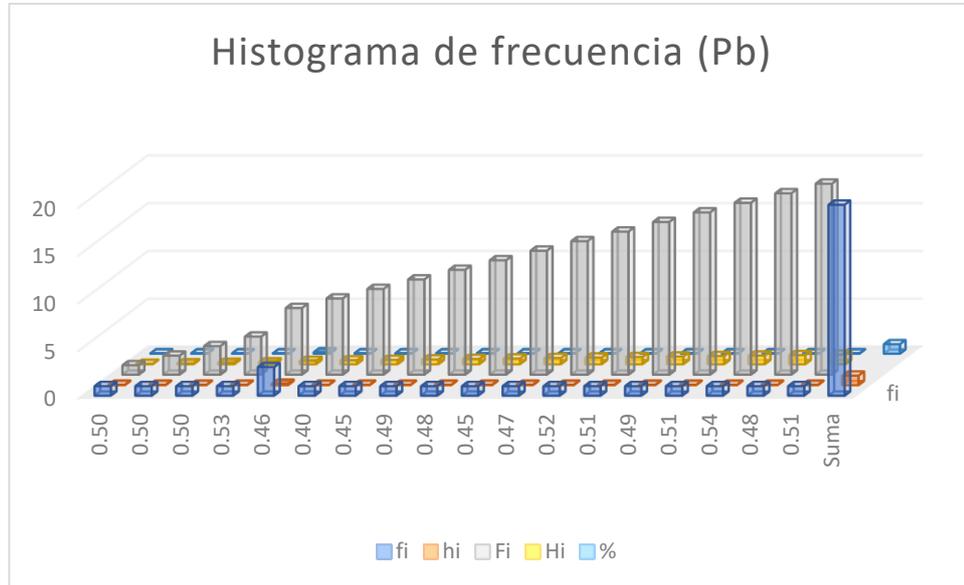
Distribución de frecuencia de plomo en el afluente

Pb	fi	hi	Fi	Hi	%
Afluente					
0.50	1	0.050	1	0.050	5%
0.50	1	0.050	2	0.100	5%
0.50	1	0.050	3	0.150	5%
0.53	1	0.050	4	0.200	5%
0.46	3	0.150	7	0.350	15%
0.40	1	0.050	8	0.400	5%
0.45	1	0.050	9	0.450	5%
0.49	1	0.050	10	0.500	5%
0.48	1	0.050	11	0.550	5%
0.45	1	0.050	12	0.600	5%
0.47	1	0.050	13	0.650	5%
0.52	1	0.050	14	0.700	5%
0.51	1	0.050	15	0.750	5%
0.49	1	0.050	16	0.800	5%
0.51	1	0.050	17	0.850	5%
0.54	1	0.050	18	0.900	5%
0.48	1	0.050	19	0.950	5%
0.51	1	0.050	20	1	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 21

Histograma de frecuencia de plomo en el afluente



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer la concentración de Pb de 0.46 mg/l tiene una frecuencia absoluta mayor en el afluente del sistema.

Tabla 15

Distribución de frecuencia de plomo en el efluente

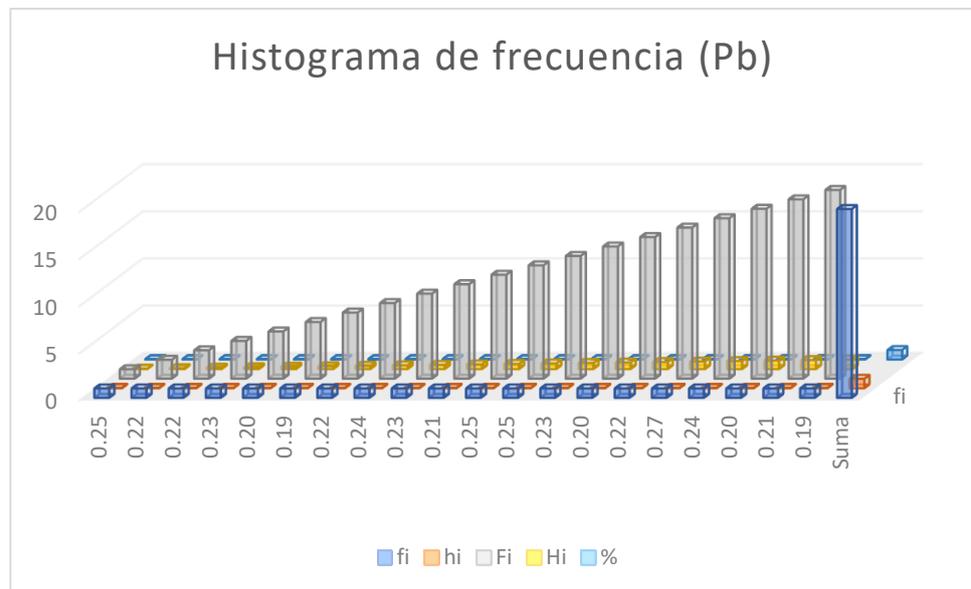
Pb Efluente	fi	hi	Fi	Hi	%
0.25	1	0.050	1	0.050	5%
0.22	1	0.050	2	0.100	5%
0.22	1	0.050	3	0.150	5%
0.23	1	0.050	4	0.200	5%
0.20	1	0.050	5	0.250	5%
0.19	1	0.050	6	0.300	5%
0.22	1	0.050	7	0.350	5%
0.24	1	0.050	8	0.400	5%
0.23	1	0.050	9	0.450	5%
0.21	1	0.050	10	0.500	5%
0.25	1	0.050	11	0.550	5%
0.25	1	0.050	12	0.600	5%
0.23	1	0.050	13	0.650	5%

0.20	1	0.050	14	0.700	5%
0.22	1	0.050	15	0.750	5%
0.27	1	0.050	16	0.800	5%
0.24	1	0.050	17	0.850	5%
0.20	1	0.050	18	0.900	5%
0.21	1	0.050	19	0.950	5%
0.19	1	0.050	20	1	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 22

Histograma de frecuencia de plomo en el efluente



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer las concentraciones de Pb tienen frecuencias absolutas similares en el efluente del sistema.

Zinc (Zn)

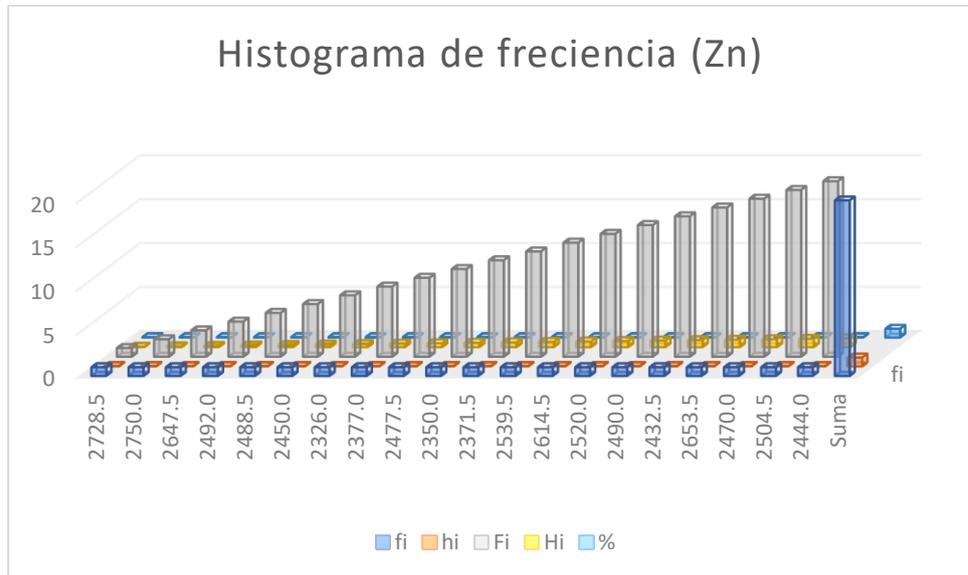
Tabla 16*Distribución de frecuencia de zinc en el afluente*

	fi	hi	Fi	Hi	%
2728.5	1	0.05	1	0.05	5%
2750.0	1	0.05	2	0.1	5%
2647.5	1	0.05	3	0.15	5%
2492.0	1	0.05	4	0.2	5%
2488.5	1	0.05	5	0.25	5%
2450.0	1	0.05	6	0.3	5%
2326.0	1	0.05	7	0.35	5%
2377.0	1	0.05	8	0.4	5%
2477.5	1	0.05	9	0.45	5%
2350.0	1	0.05	10	0.5	5%
2371.5	1	0.05	11	0.55	5%
2539.5	1	0.05	12	0.6	5%
2614.5	1	0.05	13	0.65	5%
2520.0	1	0.05	14	0.7	5%
2490.0	1	0.05	15	0.75	5%
2432.5	1	0.05	16	0.8	5%
2653.5	1	0.05	17	0.85	5%
2470.0	1	0.05	18	0.9	5%
2504.5	1	0.05	19	0.95	5%
2444.0	1	0.05	20	1	5%
Suma	20	1			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 23

Histograma de frecuencia de zinc en el afluente



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer las concentraciones de Zn tienen frecuencias absolutas similares en el afluente del sistema.

Tabla 17

Distribución de frecuencia de zinc en el efluente

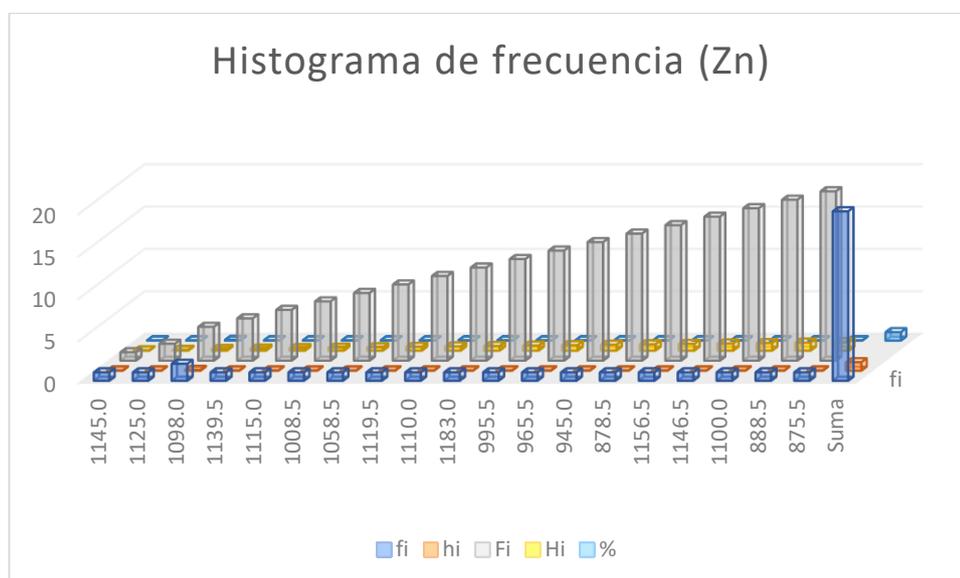
Zn Efluente	fi	hi	Fi	Hi	%
1145.0	1	0.05	1	0.05	5%
1125.0	1	0.05	2	0.10	5%
1098.0	2	0.10	4	0.20	10%
1139.5	1	0.05	5	0.25	5%
1115.0	1	0.05	6	0.30	5%
1008.5	1	0.05	7	0.35	5%
1058.5	1	0.05	8	0.40	5%
1119.5	1	0.05	9	0.45	5%
1110.0	1	0.05	10	0.50	5%
1183.0	1	0.05	11	0.55	5%
995.5	1	0.05	12	0.60	5%
965.5	1	0.05	13	0.65	5%
945.0	1	0.05	14	0.70	5%
878.5	1	0.05	15	0.75	5%

1156.5	1	0.05	16	0.80	5%
1146.5	1	0.05	17	0.85	5%
1100.0	1	0.05	18	0.90	5%
888.5	1	0.05	19	0.95	5%
875.5	1	0.05	20	1	5%
Suma	20	1.00			100%

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 24

Histograma de frecuencia de zinc en el efluente



Nota: De acuerdo al histograma generado podemos establecer la concentración de Zn de 1098.0 mg/l tiene una frecuencia absoluta mayor en el afluente del sistema.

Definitivamente, con analizar los resultados pudimos evidenciar la calidad de parámetros químicos, en el efluente del humedal artificial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), no se encuentran dentro del rango de lo admisible de los límites máximos permisibles (LMP), en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) de la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.

Por lo cual se evaluó la posibilidad de aprovechar este tipo de tratamiento como un tratamiento primario u/o secundario considerando un pretratamiento relacionándonos a los resultados obtenidos:

Los resultados obtenidos del tratamiento definen la calidad sanitaria del sistema dado en el efluente y por lo tanto las posibilidades y tipos de reúsos, según el D.S N° 004-2017-MINAM, señalando que para el riego de vegetales y bebida de animales; no cumplen para esta ni para las otras categorías debido que el parámetro de Cu = 120.4 mg/l del efluente tratada por el sistema de humedales artificiales, supera el estándar de 0.05 mg/L para esta categoría 3.

✓ Lo cual significa que el drenaje ácido de minas (DAM) del sistema de humedales artificial, no pueden reutilizarse para ninguna categoría.

✓ Debido a que el sistema completaría a los tratamientos primarios, donde lo correcto sería implementar un proceso de pre tratamiento a lo aplicado en la investigación.

4.2. Principios de la investigación y prueba de hipótesis

A. Principios de la investigación

A través de la historia y teorías se ha tratado de encontrar un método el cual sea confiable y eficaz, por ello que en la investigación científica se tiene principios básicos los cuales nos puedan garantizar un correcto muestreo y un adecuado análisis de nuestros datos obtenidos donde la distribución normal es utilizada en muchos campos ya que es el supuesto básico de algunas herramientas estadísticas tales como para las pruebas T de Student, que son pruebas de hipótesis de medias, utilizadas para datos muestrales menores a 30, empleadas para observar los resultados, para los objetivos definidos, al ser modelados mediante esta prueba; de esto han surgido varias pruebas de normalidad que toman la información de la muestra para generar un valor que

establezca un parámetro de decisión, por ello utilizamos la prueba de normalidad (Hernández, Fernández, & Baptista, 2006).

Realizamos inicialmente el test de normalidad haciendo uso del estadístico Shapiro-Wilk, ya que nuestra cantidad de datos evaluados de cada parámetro a analizar están dentro y son menores a 50 datos ($n < 50$).

a) Test de normalidad - primer objetivo específico

- ❖ Test de normalidad - plomo (Cu), sistema de humedales artificiales *Schoenoplectus californicus* (TOTORA).

Tabla 18

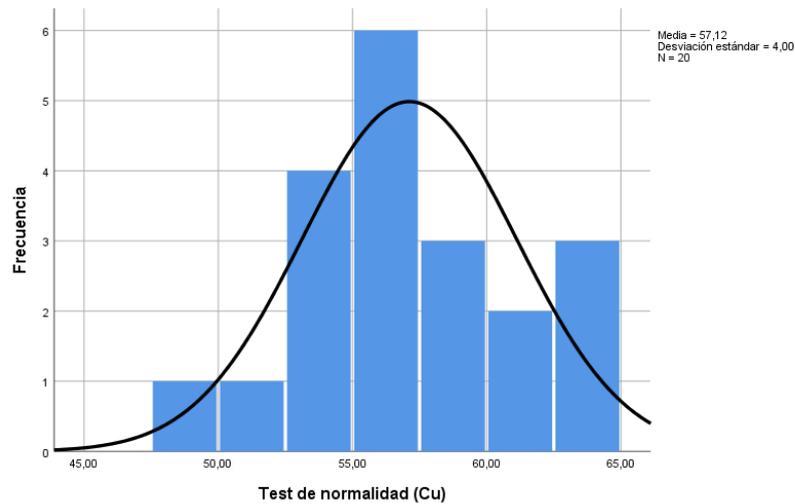
Test de normalidad para cobre en los sistemas de humedales artificiales

Pruebas de normalidad			
Test de normalidad (Cu)	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	0.957	20	0,481

Nota: Test de normalidad haciendo uso el estadístico Shapiro – Wilk el cual nos resultó de los datos recolectados en Cobre (Cu), del humedal artificial superficial en el tratamiento de drenaje ácido de mina (DAM), muestran una distribución normal ya que el valor de $Pr > 0.05$, por lo que presenta normalidad en la prueba Shapiro – Wilk.

Figura 25

Test de normalidad de cobre en el sistema de humedales artificiales cuantiles normales



Nota: Test de normalidad del parámetro Cobre (Cu) con el estadístico Shapiro - Wilk.

- ❖ Test de normalidad para el plomo (Pb), en el sistema de humedales artificiales *Schoenoplectus californicus* (TOTORA).

Tabla 19

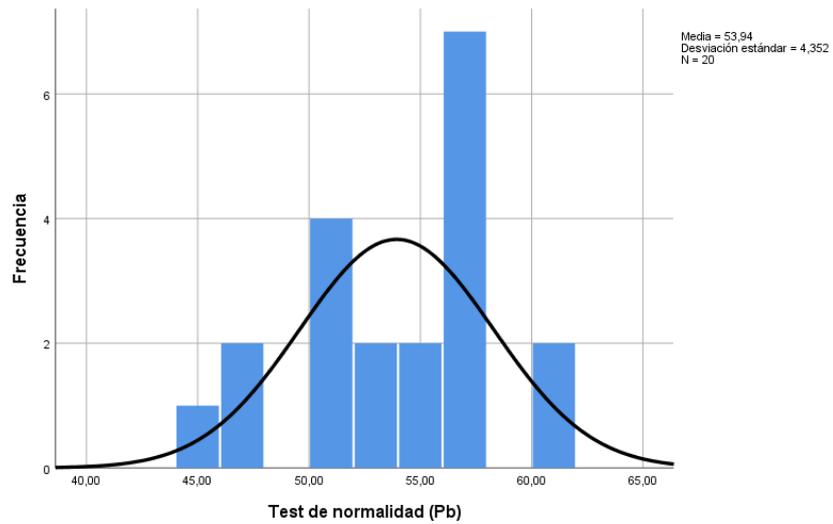
Test de normalidad para plomo en los sistemas de humedales artificiales

Pruebas de normalidad			
Test de normalidad (Pb)	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	0,962	20	0,589

Nota: Test de normalidad haciendo uso el estadístico Shapiro – Wilk el cual nos resultó de los datos recolectados en Plomo (Pb), del humedal artificial superficial en el tratamiento de drenaje ácido de mina (DAM), muestran una distribución normal ya que el valor de $Pr > 0.05$, por lo que presenta normalidad en la prueba Shapiro – Wilk.

Figura 26

Test de normalidad de plomo en el sistema de humedales artificiales cuantiles normales



Nota: Test de normalidad del parámetro Plomo (Pb) con el estadístico Shapiro - Wilk.

- ❖ Test de normalidad para el zinc (Zn), en el sistema de humedales artificiales *Schoenoplectus californicus* (TOTORA).

Tabla 20

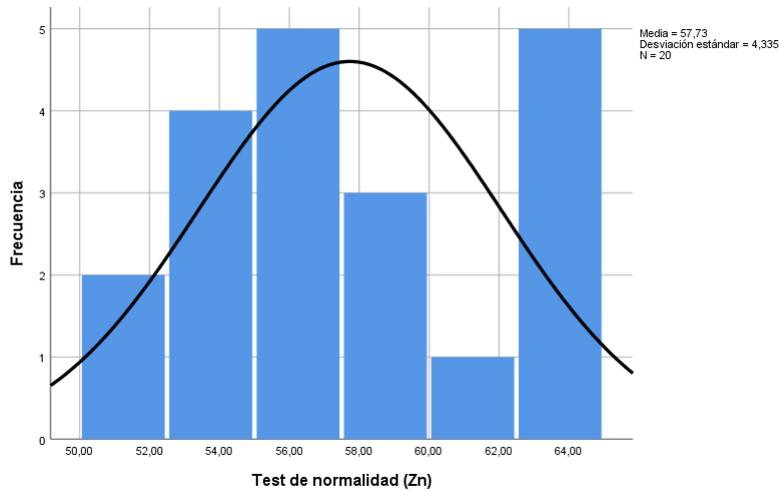
Test de normalidad para zinc en los sistemas de humedales artificiales

Pruebas de normalidad			
Test de normalidad (Zn)	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
	0,946	20	0,315

Nota: Test de normalidad haciendo uso el estadístico Shapiro – Wilk el cual nos resultó de los datos recolectados en Zinc (Zn), del humedal artificial superficial en el tratamiento de drenaje ácido de mina (DAM), muestran una distribución normal ya que el valor de $Pr > 0.05$, por lo que presenta una normalidad en la prueba Shapiro – Wilk.

Figura 27

Test de normalidad de zinc en el sistema de humedales artificiales cuantiles normales



Nota: Test de normalidad del parámetro Zinc (Zn) con el estadístico Shapiro - Wilk.

B. Prueba de hipótesis

La contratación de hipótesis se resume a 6 pasos, y estando en este último paso, se tiene ya la posibilidad de tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis nula; atendiendo a este planteamiento, que a criterio propio es el más coherente; sin dejar de lado otros planteamientos, se ha optado por seguir estos pasos para el contraste de la hipótesis (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

1. Formular la hipótesis nula y alterna de acuerdo al problema.
2. Escoger un nivel de significancia o riesgo " α ".
3. Escoger el estadígrafo de prueba más apropiado.
4. Establecer la región crítica.
5. Calcular los valores de la prueba estadística de una muestra aleatoria de tamaño " n ".
6. Decisión estadística: rechazar la hipótesis nula (H_0) si el estadígrafo tiene un valor en la región crítica y no rechazar (aceptar) igual en el otro caso

(Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

1. Formulación tanto, hipótesis nula (Ho) - alterna (Ha)

a) Hipótesis nula - alterna - primer objetivo específico

- La formulación de hipótesis, para el metal pesado Cobre (Cu)

Ha: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia mayor a 24.0%, en cuanto a la remoción de Cobre (Cu) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

$$Ha: P > 0.24$$

Ho: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia menor igual a 24.0%, en cuanto a la remoción de Cobre (Cu) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

$$Ho: P \leq 0.24$$

b) Hipótesis nula - alterna - segundo objetivo específico

- La formulación de hipótesis, para el metal pesado Plomo (Pb)

Ha: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia mayor a 27.5%, en cuanto a la remoción de Plomo (Pb) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

$$Ha: P > 0.275$$

Ho: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia menor igual a 27.5%, en cuanto a la remoción de

Plomo (Pb) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Ho: $P \leq 0.275$

c) Hipótesis nula - alterna - tercer objetivo específico

- La formulación de hipótesis, para el metal pesado Zinc (Zn)
Ha: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia menor a 23.5%, en cuanto a la remoción de Zinc (Zn) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Ha: $P < 0.235$

Ho: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia mayor igual a 23.5%, en cuanto a la remoción de Zinc (Zn) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Ho: $P \leq 0.235$

d) Hipótesis nula - alterna - cuarto objetivo específico

Ha: La calidad de los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), en comparación de D.S. N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas, para el tratamiento del DAM en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Ha: $P < LMP$

Ho: La calidad de los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), no cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), en comparación de D.S. N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas, para el tratamiento del DAM en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Ho: $P > LMP$

2. Nivel de significancia

La investigación trabajó con un error de 5 %; lo que es igual:

$\alpha = 0.05$, y un grado de confianza al 95 %.

3. Estadístico de prueba

El estadístico de prueba utilizado fue el “T de Student” para proporciones debido a que los datos analizados son menores a 30 datos y se encuentran en porcentajes, por cada parámetro para analizar el comportamiento de los datos (Sampieri, 2010).

4. Valor crítico y regla de decisión

En caso de que la hipótesis que se planteó:

- Ha ($>$), revela que se asumirá una cola hacia la derecha.
- Ha ($<$), revela que se asumirá una cola hacia la izquierda.

Con un nivel de confianza de 95% con un error $\alpha = 0.05$.

$T_{\text{tabla}} = 1/19 = 1.7291$

Grados de libertad = $20 - 1$; se tiene 19 datos de eficiencia y 20 muestras tanto afluente y efluente para uno solo parámetro en el acumulado de los monitoreos realizados.

Tcalculado \leq que el valor T de la tabla se acepta la hipótesis nula.

Tcalculado $>$ que el valor T de la tabla se rechaza la hipótesis nula.

5. Cálculo de los estadígrafos de prueba

a) T de Student - primer objetivo específico

Síntesis de la prueba de T de Student para proporciones de la remoción del Cobre (Cu), en el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa - Huachocolpa – 2021.

Tabla 21

Prueba T de Student para una proporción – remoción del Cobre (Cu)

N. de significancia (NS)	0.05
N. de confianza (NC)	0.95
Proporción teoría (Pha)	0.24
Proporción muestral (P)	0.571
Muestra (n)	20
T de tabla (valor crítico)	1.7291
T de Student proporciones	2.99

Nota: Obtención de datos necesarios para el cálculo de “Tcal” por medición del programa Statgraphics.

Realizando el reemplazo de datos para la prueba de T de Student para una proporción, se logra obtener:

$$T_{cal} = \frac{P - P_{Ha}}{\sqrt{\frac{P * (1 - P)}{n}}}$$

En el que:

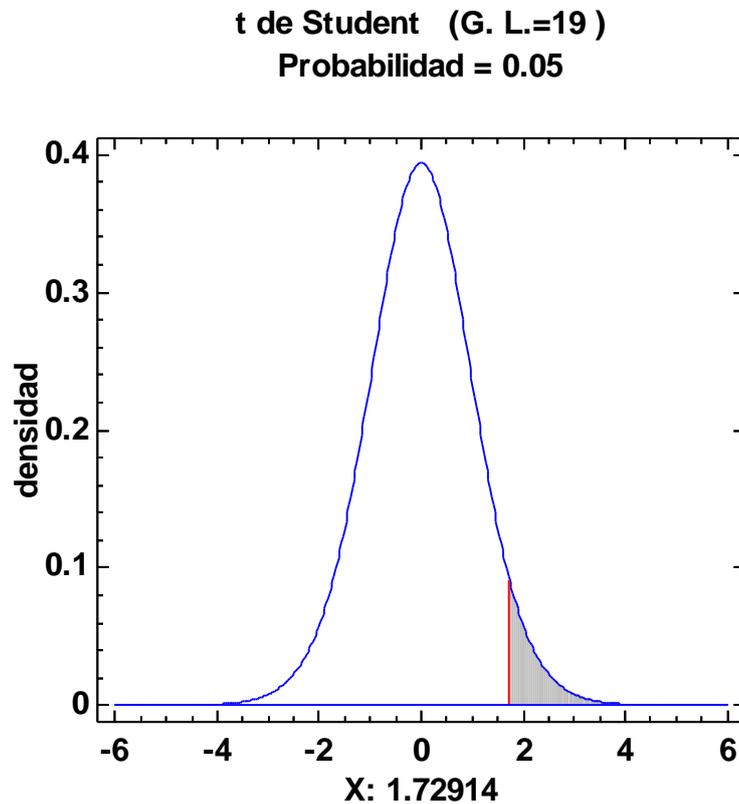
Tcalculado: T de Student cal

P: Proporción
PHa: Proporción teórica
n: cantidad de Muestra

Alcanzando que el Tcalculado o T de Student es = 2.99
Con T de tabla = 1.7291

Figura 28

Valores críticos "t" para aceptar o rechazar la hipótesis nula (H₀), en términos de la remoción de Cobre (Cu)



Nota: El valor T cal para las proporciones es $2.99 >$ al valor de T de la tabla igual a 1.7291, para las concentraciones de Cobre (Cu) se deduce que existe una ligera diferencia entre estos: T de tabla y T calculado.

b) T de Student - segundo objetivo específico

➤ Análisis de T de Student para una proporción – Remoción de Plomo (Pb)

Tabla 22

Prueba T de Student para una proporción – remoción de Plomo (Pb)

N. de significancia (NS)	0.05
N. de confianza (NC)	0.95
Proporción teoría (Pha)	0.275
Proporción muestral (P)	0.539
Muestra (n)	20
T de tabla (valor crítico)	1.7291
T de Student proporciones	2.37

Nota: Obtención de datos necesarios para el cálculo de “Tcal” por medición del programa Statgraphics

Realizando el reemplazo de datos para la prueba de T de Student para una proporción, se logra obtener:

$$T_{cal} = \frac{P - P_{Ha}}{\sqrt{\frac{P * (1 - P)}{n}}}$$

En el que:

Tcalculado: T de Student cal

P: Proporción

PHa: Proporción teórica

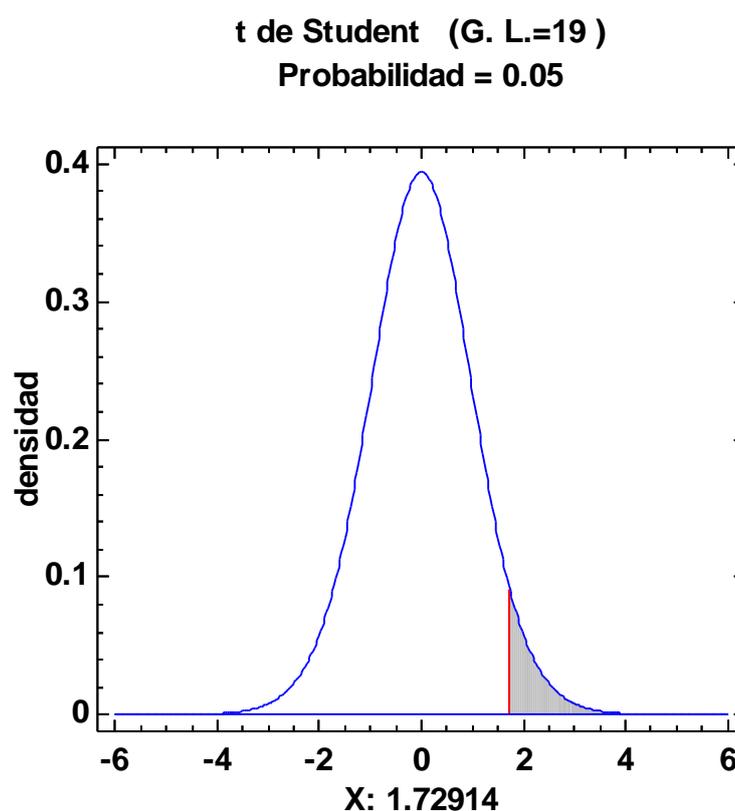
n: cantidad de muestras

Alcanzando que el T cal o T de Student es = 2.37

Con T de tabla = 1.7291

Figura 29

Valores críticos “t” para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, en remoción de Plomo (Pb)



Nota: El valor T cal para las proporciones es $2.37 >$ al valor de T de la tabla igual a 1.7291, para las concentraciones de Plomo (Pb) se deduce que existe una ligera diferencia entre estos: T de tabla y T calculado.

c) T de Student - tercer objetivo específico

➤ Análisis de T de Student para una proporción – Remoción de Zinc (Zn)

Tabla 23

Prueba T de Student para una proporción – remoción de Zinc (Zn)

N. de significancia (NS)	0.05
--------------------------	------

N. de confianza (NC)	0.95
Proporción teoría (Pha)	0.235
Proporción muestral (P)	0.577
Muestra (n)	20
T de tabla (valor crítico)	1.7291
T de Student proporciones	3.096

Nota: Obtención de datos necesarios para el cálculo de “Tcal” por medición del programa Statgraphics

Realizando el reemplazo de datos para la prueba de T de Student para una proporción, se logra obtener:

$$T_{cal} = \frac{P - P_{Ha}}{\sqrt{\frac{P * (1 - P)}{n}}}$$

En el que:

Tcalculado: T de Student cal

P: Proporción

PHa: Proporción teórica

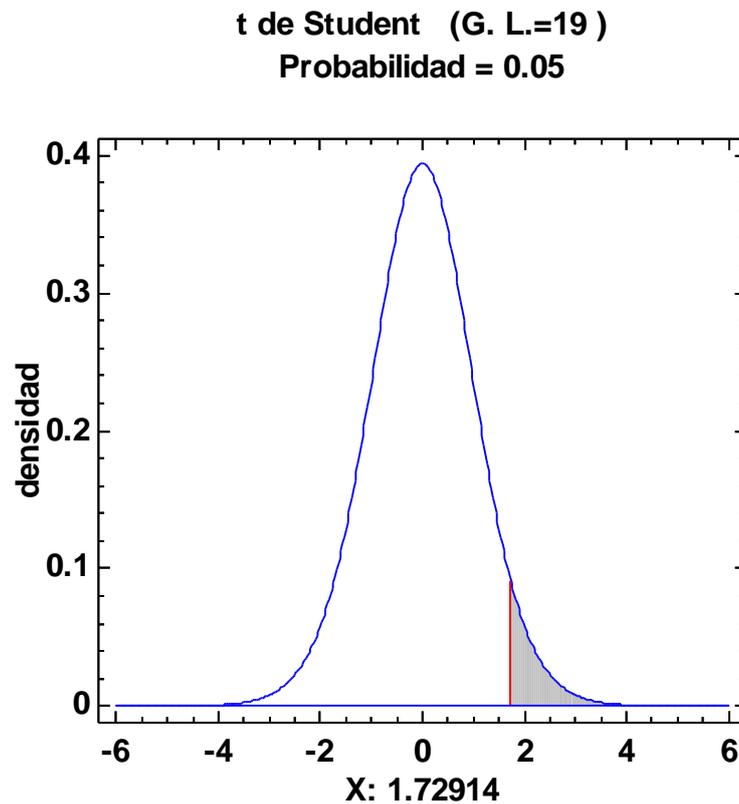
n: cantidad de muestras

Alcanzando que el T cal o T de Student es = 3.096

Con T de tabla = 1.7291

Figura 30

Valores críticos "t" para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, en remoción de Zinc (Zn)



Nota: El valor T cal para las proporciones es $3.096 >$ al valor de T de la tabla igual a 1.7291, para las concentraciones de Zinc (Zn) se deduce que existe una ligera diferencia entre estos: T de tabla y T calculado.

d) T de Student - cuarto objetivo específico

- Análisis de T de Student para el pH.

Tabla 24

Prueba T de Student - pH con LMPs

T de Student -pH (LMPs del reglamento)	
N. de significancia (NS)	0.05
N. de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP = 6 - 9	6-9
Muestra (n)	20
Grados de libertad (n-1)	19
Media (x)	4.01
Desviación estándar (s)	0.079
Prueba de T de Student	-0.75

Nota: Resultados obtenidos.

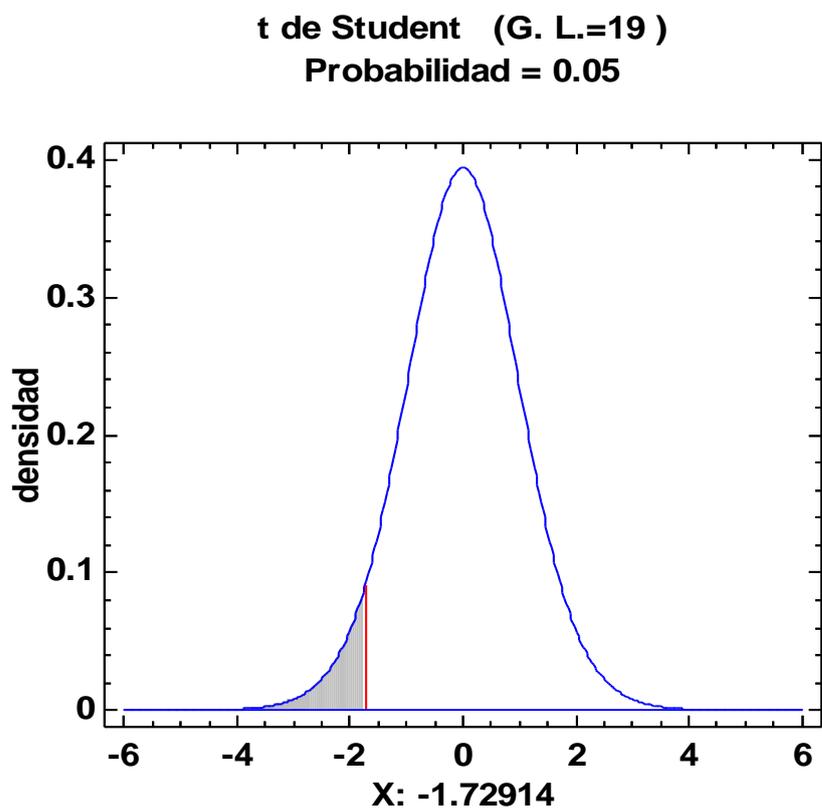
$$T_{cal} = \frac{X - u}{S/\sqrt{n}}$$

Obteniendo que el T cal o T de Student es = -0.75

Con T de tabla = -1.729

Figura 31

Valores críticos "t" para aceptar o rechazar la hipótesis nula H_0 , para el potencial de hidrogeno (pH)



Nota: El valor T cal para las proporciones es $-0.75 <$ al valor de T de la tabla igual a -1.729 , para el pH existe una diferencia de valores de T.

- Análisis de T de Student - remoción de Cobre (Cu).

Tabla 25

Prueba T de Student - remoción de Cobre (Cu) con LMP

T de Student - remoción de Cobre (LMPs del reglamento)	
N. de significancia (NS)	0.05
N. de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 0.5	0.5
Muestra (n)	20

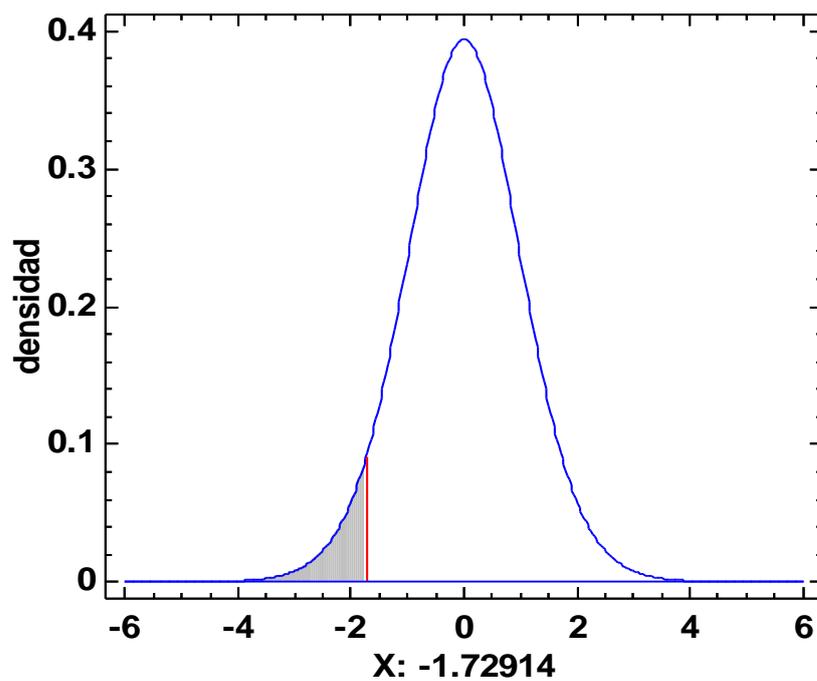
Grados de libertad (n-1)	19
Media (x)	0.49
Desviación estándar (s)	3.9
Prueba de T de Student	-0.012

Nota: Resultados obtenidos.

Figura 32

Valores críticos "t" para aceptar o rechazar la hipótesis nula Ho, para la remoción de Cobre (Cu)

**t de Student (G. L.=19)
Probabilidad = 0.05**



Nota: El valor T cal para las proporciones es $-0.012 <$ al valor de T de la tabla igual a -1.729 , para la remoción de Cobre existe una diferencia entre estos valores de T.

➤ Análisis de T de Student para la remoción de Plomo (Pb).

Tabla 26

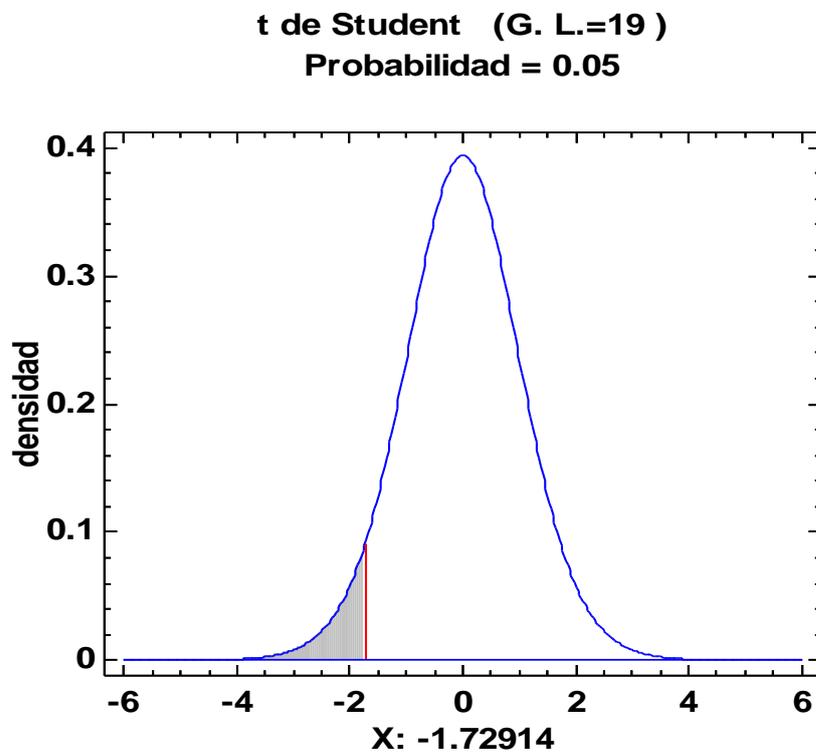
Prueba T de Student -remoción de Plomo (Pb) con LMP

T de Student - remoción de Plomo (LMPs del reglamento)	
N. de significancia (NS)	0.05
N. de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 0.2	0.2
Muestra (n)	20
Grados de libertad (n-1)	19
Media (x)	0.102
Desviación estándar (s)	0.28
Prueba de T de Student	-1.11

Nota: Resultados obtenidos.

Figura 33

Valores críticos "t" para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, para la remoción de Plomo (Pb)



Nota: El valor T cal para las proporciones es $-1.11 <$ al valor de T de la tabla igual a -1.729 , para la remoción de Plomo existe una diferencia entre estos valores de T.

➤ Análisis de T de Student - remoción de Zinc (Zn).

Tabla 27

Prueba T de Student - remoción de Zinc (Zn) con LMP

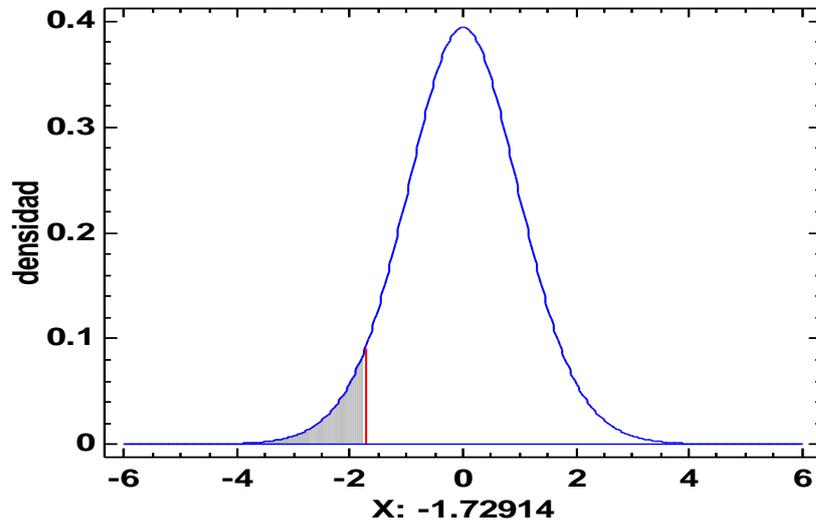
T de Student - remoción de Zinc (LMPs del reglamento)	
N. de significancia (NS)	0.05
N. de confianza (NC)	0.95
Valor hipotético (u) LMP < 1.5	1.5
Muestra (n)	20
Grados de libertad (n-1)	19
Media (x)	0.577
Desviación estándar (s)	4.22
Prueba de T de Student	-0.978

Nota: Resultados obtenidos.

Figura 34

Valores críticos "t" para poder aceptar o rechazar la hipótesis nula, para la remoción de Zinc (Zn).

**t de Student (G. L.=19)
Probabilidad = 0.05**



Nota: El valor T cal para las proporciones es $-0.978 <$ al valor de T de la tabla igual a -1.729 , para la remoción de Zinc existe una diferencia entre estos valores de T.

6. Decisión estadística

a) Decisión estadística - primer objetivo específico

✓ Remoción de Cobre (Cu)

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a), a partir de los valores: ($T_{\text{calculado}} = 2.99 > T_{\text{tabla}} = 1.7291$), el valor del estadístico muestral (T calculado), se localiza en la región de rechazo para H_0 , por ende la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y ultimamos: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia mayor a 24.0%, en cuanto a la remoción de Cobre (Cu) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

b) Decisión estadística - segundo objetivo específico

✓ Remoción de Plomo (Pb)

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a), a partir de los valores: ($T_{\text{calculado}} = 2.37 > T_{\text{tabla}} = 1.7291$), el valor del estadístico muestral (T calculado), se localiza en la región de rechazo para H_0 , por ende la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y ultimamos: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia mayor a 27.5%, en cuanto a la remoción de Plomo (Pb) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

c) Decisión estadística - tercer objetivo específico

✓ Remoción de Zinc (Zn)

Se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a), a partir de los valores: ($T_{\text{calculado}} = 3.096 > T_{\text{tabla}} = 1.7291$), el valor del estadístico muestral (T calculado), se localiza en la región de rechazo para H_0 , por ende la hipótesis nula (H_0) se rechaza, y ultimamos: El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Shoenoplectus californicus* (TOTORA), muestra una eficiencia mayor a 23.5%, en cuanto a la remoción de Zinc (Zn) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

d) Decisión estadística - cuarto objetivo específico

✓ Potencial de hidrogeno (pH)

Se acepta nuestra hipótesis nula (H_0) y se rechazó la hipótesis alterna (H_a), a partir de los valores: ($T_{\text{calculado}} = -0.75 < T_{\text{tabla}} = -1.7291$), el valor del estadístico muestral (T calculado), se localiza en la región de aceptación para H_0 , por ende la hipótesis nula (H_0) se acepta, y ultimamos: La calidad del parámetro químico potencial de hidrogeno, en el efluente del humedal artificial, no cumple con el D.S. N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes de actividad – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

✓ Remoción de Cobre (Cu)

Se acepta nuestra hipótesis nula (H_0) y se rechazó la hipótesis alterna (H_a), a partir de los valores: ($T_{\text{calculado}} = -0.012 < T_{\text{tabla}} = -1.7291$), el valor del estadístico muestral (T calculado), se localiza en la región de aceptación para H_0 , por ende la hipótesis nula (H_0) se acepta, y ultimamos: La calidad del parámetro químico Cobre (Cu), en el efluente del humedal artificial, no cumple con el D.S. N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes de actividad – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

✓ Remoción de Plomo (Pb)

Se acepta nuestra hipótesis nula (H_0) y se rechazó la hipótesis alterna (H_a), a partir de los valores: ($T_{\text{calculado}} = -0.75 < T_{\text{tabla}} = -1.7291$), el valor del estadístico muestral (T calculado), se localiza en la región de aceptación para H_0 , por ende la hipótesis nula (H_0) se acepta, y ultimamos: La calidad del parámetro químico Plomo (Pb), en el efluente del humedal artificial, no cumple con el D.S. N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes de actividad – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

✓ Remoción de Zinc (Zn)

Se acepta nuestra hipótesis nula (H_0) y se rechazó la hipótesis alterna (H_a), a partir de los valores: ($T_{\text{calculado}} = -0.75 < T_{\text{tabla}} = -1.7291$), el valor del estadístico muestral (T calculado), se localiza en la región de aceptación para H_0 , por ende la hipótesis nula (H_0) se acepta, y ultimamos: La calidad del parámetro químico Zinc (Zn), en el efluente del humedal artificial, no cumple con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes de actividad – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Conclusiones de la prueba de hipótesis

El estadístico desarrollado T de Student, para el objetivo general, se certifica la eficiencia en la remoción de metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) de la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. Eficiencia

a) Eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM)

Para la presente investigación se lograron determinar la eficiencia de remoción de los parámetros establecidos, cumpliendo una eficiencia favorable ante los objetivos específicos, tanto en remoción como en la comparación del D.S 0.10-2010 MINAM, los cuales nos permiten establecer que el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA) cuenta con eficiencias para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Las eficiencias logradas en la presente investigación se alcanzaron por aspectos que se han asumido en bases teóricas para la implementación de estos sistemas pasivos; a lo cual la investigación se realizó a escala piloto en campo (in situ), donde se consideró los factores ambientales como también el caudal, TRH y la toxicidad del DAM; lo cual favoreció en los procesos de remoción de metales pesados. En su investigación Aduvire (2006) establece que, para poder lograr una mayor eficiencia en sistemas pasivos en el tratamiento se da en pequeños caudales. El substrato o lecho filtrante oxigenado influye en formación de hábitad para las colonias microbianas que actúan como catalizadoras en la oxidación en cual

finalmente precipita en forma de hidróxido; se necesita el TRH necesario para poder cumplir con los procesos lentos depuradores del agua.

En su revisión Pat-Espadas, Loredó, Amabilis-Sosa, Gómez, & Vidal (2018) hacen mención que es necesario utilizar un diseño experimental adecuado desde el laboratorio hasta los sistemas a gran escala para optimizar los equilibrios entre la selección de componentes CW y los costos de construcción y operación. La principal limitación para el tratamiento de la AMD con CW es el efecto de toxicidad que los metales pesados producen en las plantas y microorganismos CW.

b) Eficiencia de remoción del cobre (Cu) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM)

Con respecto al objetivo específico 1 se tiene en la investigación realizado por Sucari (2022), en promedio logró una remoción de cobre total de 82.67% a través de la aplicación del humedal artificial en el efluente minero. Por lo tanto, el humedal implementado con la especie *Scirpus californicus* (Totora) logro presentar sutilmente mayor capacidad de remoción de Cobre Total, con respecto a la presente investigación. Mientras que para Huamán (2018), logró una disminución en la concentración de cobre alcanzando a un valor de 81% con el humedal en serpentín con 4 celdas que en las cuales se colocaron las especies (*Phragmites australis*, *Hydrilla verticillata*, *Scirpus holoschoenus*) más la totora y el lirio de jalca para el tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmontes con caudales de 25, 30 y 35 ml/ min. Concluye aumentando el pH y disminuye la concentración del cobre (Cu). Asimismo López (2018) reporta que obtuvo una reducción del contenido de cobre en un 99.79% con 0.02 mg/L en la fase de tratamiento del humedal en el sistema mixto “ALD-Humedal” a escala de laboratorio, puesto que se han podido alcanzar importantes mejoras en la calidad del efluente de dicha fase. También Cadillo (2018), logró una disminución en la concentración de cobre alcanzando a un valor

final de 0.21 mg/l de 0.63mg/l mediante el uso de bacterias sulfato reductoras en un filtro natural con turba, paja y bosta de la vaca, ya que estas nos generan bacterias. Concluye disminuyendo el nivel de concentración del cobre (Cu) disuelto en el agua a valores aceptables, cumpliendo así con la normativa peruana en cuanto a LMP para descargas de agua superficial producto de la actividad minera. En cambio, la investigación logro obtener una depreciación de 160.7 mg/L, en el efluente del sistema de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), esta disminución es favorable a que existe un tiempo de retención hidráulico considerable la cual ayuda al sistema biótico a fitodepurar concentraciones mediante el proceso bioquímico. Donde la eficiencia de remoción fue de 57.1% con 120.4 mg/L en el efluente del sistema.

c) Eficiencia de remoción del Plomo (Pb) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM)

Con respecto al objetivo específico 2 se tiene en la investigación realizado por Sucari (2022), obtuvo una remoción de plomo total de 94.63% a través de la aplicación del humedal artificial en el efluente minero. Por lo tanto, el humedal implementado con la especie de *Scirpus californicus* (Totora) logro presentar sutilmente mayor capacidad de remoción de plomo Total, con respecto al presente investigación. Asimismo López (2018) reporta que obtuvo una reducción del contenido de plomo (Pb) en un 94.12% con 0.04 mg/L en la fase de tratamiento del humedal en el sistema mixto “ALD-Humedal” a escala de laboratorio, puesto que se han podido alcanzar importantes mejoras en la calidad del efluente de dicha fase. Mientras que para Huamán (2018), logró una disminución en la concentración de plomo (Pb) a un valor de 27.5% con el humedal en serpentín con 4 celdas que en las cuales se colocaron las especies (*Phragmites australis*, *Hydrilla verticillata*, *Scirpus holoschoenus*) más la totora y el lirio de jalca para el tratamiento de drenaje ácido del depósito de

desmontes con caudales de 25, 30 y 35 ml/ min. También Cadillo (2018), logró una disminución en la concentración de plomo (Pb) alcanzando a un valor final de 0.03 mg/l de 0.06mg/l mediante el uso de bacterias sulfato reductoras en un filtro natural con turba, paja y bosta de la vaca. Concluye disminuyendo el nivel de concentración del plomo (Pb) disuelto en el agua a valores aceptables. A diferencia de la presente investigación se obtuvo una disminución de 0.27 mg/L, en el efluente del sistema de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), esta disminución es favorable a que existe un tiempo de retención hidráulico considerable la cual ayuda al sistema biótico a fitodepurar concentraciones mediante el proceso bioquímico. Donde la eficiencia de remoción fue de 53.9% con 0.22 mg/L en el efluente del sistema.

d) Eficiencia de remoción del Zinc (Zn) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM)

Con respecto al objetivo específico 3 se tiene en la investigación realizado por Sucari (2022), que logró una remoción de Zinc total (Zn) de 80.99% a través de la aplicación del humedal artificial en el efluente minero. Por lo tanto, el humedal implementado con la especie de *Scirpus californicus* (Totora) logro presentar sutilmente mayor capacidad de remoción de Zinc Total. Mientras que para Huamán (2018), logró una disminución en la concentración de Zinc alcanzando a un valor de 85.5% con el humedal en serpentín con las especies (*Phragmites australis*, *Hydrilla verticillata*, *Scirpus holoschoenus*) más la totora y el lirio de jalca para el tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmontes con caudales de 25, 30 y 35 ml/ min. Concluye aumentando el Ph y disminuye la concentración del Zinc (Zn). Asimismo López (2018) reporta que obtuvo una reducción del contenido de Zinc en un 99.82% con 0.30 mg/L en la fase de tratamiento del humedal en el sistema mixto “ALD-Humedal” a escala de laboratorio, puesto que se han podido alcanzar importantes mejoras en la calidad del efluente de dicho fase. También Cadillo (2018), logró una disminución en

la concentración de Zinc (Zn) alcanzando a un valor final de 0.9 mg/l de 1.1 mg/l mediante el uso de bacterias sulfato reductoras en un filtro natural con turba, paja y bosta de la vaca. Concluye disminuyendo el nivel de concentración del Zinc (Zn) disuelto en el agua a valores aceptables. En cambio, la investigación logro obtener una depreciación de 1448.77 mg/L, en el efluente del sistema de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), esta disminución es favorable a que existe un tiempo de retención hidráulico considerable la cual ayuda al sistema biótico a fitodepurar concentraciones mediante el proceso bioquímico. Donde la eficiencia de remoción fue de 57.73% con 1057.58 mg/L en el efluente del sistema.

e) Calidad de los parámetros físicos y químicos en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM).

Con respecto al objetivo específico 4 se tiene en la investigación realizado por Sucari (2022), que logró el aumento del Ph hasta un 6.41 de 4.6 a una temperatura ambiental que va entre 9.0°C y 11.0°C llegando a una conclusión donde el afluente proveniente de interior mina muestra valores que superan los LMPs, mientras que los resultados del análisis en el efluente (agua tratada), se reconoce concentraciones significativamente bajas de metales (fierro disuelto, cobre total, zinc total, arsénico total, cadmio total y plomo total,) los cuales encuentran por debajo del límite máximo permisible (LMP). Mientras que para Huamán (2018), alcanzó en incrementar el pH a 7.2 desde 3.4 y reducción de metales las cuales se dieron en los 4 días con el flujo de 25min/min. Finalmente, esta tesis muestra cómo se puede aumentar el pH y disminuir la concentración de metales presentes en el agua ácida de mina (Cu, Pb y Zinc de nuestro interés), por medio de un sistema pasivo el cual minimiza costos, es partidario con el medio ambiente logrando descargar aguas que se

encuentren dentro de los LMPs que exige la legislación nacional ambiental. De manera que la tesis muestra el potencial de estos sistemas los cuales pueden ser opciones de tratamiento de bajo costo para el manejo y/o tratamiento de aguas ácidas en mina. De esta manera López (2018) logró incrementar el pH en 5.82 unidades para luego concluir determinando que los valores del efluente final obtenido mediante la aplicación del sistema mixto ALD (Anoxic Limestone Drain – drenes de caliza anóxica) – Celdas de Oxidación – Humedal de Laboratorio se encuentran por debajo de los LMP de Emisión de Efluentes Líquidos para las Actividades Minero-Metalúrgicas - DS N° 010-2010-MINAM. Por lo dicho mediante el tratamiento pasivo se obtiene un afluente de buena calidad. También Cadillo (2018), logró elevar considerablemente el Ph de 3.91 a 6.24, y por ende las concentraciones de los metales disminuyeron hasta valores aceptables como en el caso del Cobre (Cu) con un valor final de 0.21 mg/l, así cumpliendo con la normativa peruana D.S 010-2010-MINAM para límites máximos de descarga de efluentes para la actividad minera. En cambio, en la presente investigación in situ se obtuvo un aumento de pH de 3.67 a 4.01 a una temperatura ambiental promedio de 10.8 °C en estación húmeda. En cuanto a los parámetros químicos se lograron los siguientes resultados: Cu = 120.4 mg/l, Pb = 0.22 mg/l y Zn = 1057.58 mg/l en efluente del sistema de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), no logrando cumplir con el D.S. N° 010-2010-MINAM límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, tanto en parámetros físicos y químicos.

Conclusiones

- ✓ Se logró determinar que el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), muestran una eficiencia en cuanto a la remoción de metales pesados para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- ✓ Se logró determinar la eficiencia de remoción del cobre (Cu) con 57.12%, mediante el sistema de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- ✓ Se logró determinar la eficiencia de remoción del plomo (Pb) con 53.93%, mediante el sistema de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- ✓ Se logró determinar la eficiencia de remoción del zinc (Zn) con 57.73%, mediante el sistema de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.
- ✓ Se logró determinar la calidad de los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (TOTORA), en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles en el cual no se logró cumplir para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa – 2021.

Recomendaciones

- ✓ Previo a utilizar un tratamiento pasivo, se debe conocer la carga contaminante, o realizar una caracterización, para así poder elegir el tipo de tratamiento pasivo a utilizar, aeróbico, anaeróbico, de flujo superficial, subsuperficial de flujo vertical u horizontal, ANC, etc.
- ✓ En vista que se determinó que es preciso emplear un pretratamiento el cual facilite a degradar de forma más eficiente, para así poder lograr cumplir con la normativa nacional.
- ✓ Para una próxima investigación sería conveniente aplicar haciendo uso de otras especies que también logren adaptarse al lugar de estudio para una mayor eficiencia.
- ✓ Los factores básicos a ser considerados en una futura investigación paralela podrían ser: las especies a tomar en cuenta, tiempo de adaptación de ellas, el grado de saturación de las especies, el dimensionamiento del sistema, los substratos a utilizar y el TRH.
- ✓ Una de las opciones para una futura investigación en este tipo de sistemas es poder llegar a combinar un sistema activo y pasivo aplicado a una escala piloto y/o si se pudiera real para poder llegar a conocer la eficiencia que pudieran lograr.
- ✓ Realizar investigaciones con todas las líneas de investigación que es necesarias para el crecimiento científico de nuestra escuela profesional.

Referencias bibliográficas

- Abril, L., & Parra, L. (2012). *Diseño y Aplicación de una Capacitación sobre una Técnica de Fitorremediación con la planta Lemna minor Acumuladora de Cromo (VI)*. Bogotá.
- Aduvire, O. (2006). *Drenaje acido de mina generación y tratamiento*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Agency, E. P. (2000). *Folleto informativo de tecnologías de aguas residuales Humedales de flujo libre superficial*. Washington, D.C.: Office of Water.
- Aguilar, A., & Aguilar, H. (2017). *Sistema Piloto de fitorremediación para el tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la quebrada Mesa de Plata - Hualgayoc - 2017*. Cajamarca. Cajamarca: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello.
- Anonimo. (18 de Junio de 2020). *Huancavelica Perú*. Obtenido de Huancavelica Perú: <https://www.huancavelica.org/mineria>
- Bachibiology. (2012). *Mecanismo de tension-adhesión-cohesión*.
- Bird, R. (2006). *Fenómenos de Transporte*. Limusa Wiley.
- Broughton, L. (10 de Diciembre de 1993). *PROTOCOLO DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA. PROTOCOLO DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA*. Lima, Peruano, Perú: Direccion General de Asuntos Ambientales Proyecto Emtal.
- Cadillo, E. (2018). *Propuesta de mejoramiento de la calidad de las aguas acidas que drenan del pasivo ambiental de la mina Nuncia mediante el uso de bacterias sulfato reductoras - Ataquero - Carhuaz - Ancash*. Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Cadorin, L., Carissimi, E., & Rubio, J. (2007). *Avances en el tratamiento de aguas ácidas de minas*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Carrillo, N. (2011). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*. Venezuela.
- Cayllahua, M., & Gonzales, L. (2020). *Biosorción de cobre (Cu) y plomo (Pb) provenientes de relaves mineros mediante el uso de biomasa microbiana, mina Buenaventura-Jucani*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Chaparro, L. (2015). *Drenaje Ácidos de mina formación y manejo*. *ESAICA*, 53-57.
- Chávez, C. (2011). *Detección de metales pesados en agua*. Puebla: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electronica.
- Ciega, W., & Miguel, G. (2020). *Influencia del tiempo y espesor de capa de caliza sobre la remoción de hierro total y sulfatos mediante un humedal artificial de*

un drenaje ácido de minas del distrito de Hualgayoc, Cajamarca 2020. Cajamarca.

- CooperAcción, Fedepaz, & Grufides. (15 de Octubre de 2018). *Observatorio de conflictos mineros en el Perú*. Obtenido de Observatorio de conflictos mineros en el Perú: [http://conflictosmineros.org.pe/2018/12/12/region-huancavelica-informe-extraido-del-23-reporte-del-ocm/#:~:text=Huancavelica%20cuenta%20con%20una%20actividad,product or\)%2C%20entre%20otros%20minerales.&text=Las%20concesiones%20mineras%20ocupan%20774%2C955](http://conflictosmineros.org.pe/2018/12/12/region-huancavelica-informe-extraido-del-23-reporte-del-ocm/#:~:text=Huancavelica%20cuenta%20con%20una%20actividad,product or)%2C%20entre%20otros%20minerales.&text=Las%20concesiones%20mineras%20ocupan%20774%2C955),
- Córdova, R. C., & Rojas, J. (2015). *“Alcalinización con Travertino y desmineralización de aguas ácidas de minas en simulador de humedal a nivel de laboratorio”*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Córdova, R. C., & Rojas, J. (2015). *Alcalinización con travertino y desmineralización de aguas ácidas de minas en simulador de humedal a nivel de laboratorio*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Cornejo, M. (2016). *Biorremediación de relaves mineros con un consorcio microbiano nativo caracterizado molecularmente y productor de enzimas degradadoras de cianuros y derivados*. Tumbes: Universidad Nacional de Tumbes.
- Cruz, J. (2015). *Tratamientos pasivos aplicados a drenajes ácidos de mina*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Curasma, M., & Estefani, S. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema integrado de biopelícula y fitorremediación con *Nasturtium officinale* (Berro) para el tratamiento de agua residual municipal en Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Decreto N° 059 - EM. (7 de diciembre de 2005). Reglamento de Pasivos Ambientales de la Actividad Minera. *Diario Oficial El Peruano*.
- Delgadillo, O., Camacho, A., F.Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. (N. A. Durán, Ed.) Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Fraume, N. (2006). *Diccionario ambiental*. Bogotá: Kimpres Ltda.
- Gamonal, P. (2013). *Tratamiento de drenaje de ácidos de minas en humedales construidos*. Arequipa.
- Gómez, M. d. (2016, p. 82). *Metodología y Tecnicas de la Investigació*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gonzales, A., Oseda, D., Ramirez, F., & Gave, J. (2014). *¿Cómo aprender y enseñar investigación científica?* (Segunda ed.). Huancayo, Perú: 978-612-46019-0-3.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill .

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación. En Metodología de la investigación (Cuarta)*. Mexico.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (sexta)*. México.
- Huamán, C. (2018). *"Tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmonte Unsuitable IV Yanacocha Norte por el proceso de humedales en serpentín"*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Huancavelica, M. d. (18 de junio de 2020). *Minería de Huancavelica*. Obtenido de Minería de Peru: <https://www.huancavelica.org/mineria>
- Huiza, A., & Orellana, W. C. (2015). *Remoción de metales del drenaje ácido de mina mediante lecho pulsando de caliza del pasivo ambiental minero Apu Campanayuc I Huancavelica*. Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú.
- Jaramillo, A., & Contreras, M. (2019). *Tratamiento de drenaje ácido de minas de carbón mediante humedales artificiales - caso de estudio quebrada el Chocho en el corregimiento de Montebello Cali*. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente.
- Johansen, O. (2004). *Introducción a la teoría general del sistema*. México: Limusa - Noriega Editores.
- León, L. (2018). *Aplicación del método de tratamiento pasivo Dispersed Alkaline Substrate (DAS), para la remoción de metales, contenidos en el drenaje ácido de mina Julcani, Perú*. . Barcelona: Universitat de Barcelona .
- López, A. (2018). *Administración estratégica para el tratamiento de aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales en Nyrstar Coricancha S.A*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- López, P. (2004). Poblacion muestra y muestreo. *Scielo*, 1-2.
- Mendoza, J. (2019). *Eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales mediante el tratamiento de dos humedales artificiales en la estación experimental agraria Callqui-Huancavelica*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Minas, M. d. (18 de Junio de 2020). *Ministerio de Energía y Minas*. Obtenido de Ministerio de Energía y Minas: <http://mineria.minem.gob.pe/institucional/peru-pais-minero/>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2018). *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental*. Lima. Obtenido de <https://sistemas.oefa.gob.pe>

- Organización de las Naciones Unidas-HABITAT. (2008). *Manual de Humedales Artificiales*. (V. Arroyo, Ed.) Katmandú, Nepal: Programa Agua para ciudades asiáticas de ONU-HABITAT.
- Oseda, D. (2008). *Metodología de investigación*. Huancayo: Pirámide.
- Osinermin. (2017). *La industria de la minería en el Perú*. Lima: Gráfica Biblios S.A.
- Pat-Espadas, A., Loredo, R., Amabilis-Sosa, L., Gómez, G., & Vidal, G. (2018). *Review of Constructed Wetlands for Acid Mine Drainage Treatment*. México: CONACYT-UNAM.
- Paucar Garcia, S. K. (2018). *Capacidad del Sistema de Tratamiento Pasivo para mejorar la calidad del drenaje ácido de mina de la Quebrada Puca, distrito Huandoval-Ancash, 2018*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Paucar, S. (2018). *Capacidad del sistema de tratamiento pasivo para mejorar la calidad del drenaje ácido de mina de la quebrada Puca, distrito Huandoval-Ancash, 2018*. Lima : Universidad César Vallejo.
- Peña, J., & Pérez, W. (2009). *Manejo de drenajes ácidos de mina (DAM)*. Tesis de especialización , Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Pinto, H. (2010). *Desastre ecológico y ambiental en Huancavelica*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Pulcha, J. R., & Valencia, M. P. (2019). *Evaluación de la degradación de contaminantes ecotóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Rodríguez, A. (1 de Julio de 2017). Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento. *Redalyc.org*, 12. doi:<https://doi.org/10.21158/01208160.n82.2017.1647>
- Rodríguez, C. (2018). *Diseño de planta de tratamiento de aguas ácidas de mina con alto contenido de manganeso y zinc*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Rubio, J., Carissimi, J., & Rosa, J. (2007). *Flotation in water and wastewater treatment and reuse: Recent trends in Brazil*. Brazil: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Rumjit, N., & Thomas, P. (2017). *Acid Mine drainage soil treatment: Remediation Approaches - A short Review*. Tamil Nadu, India: VIT University.
- Sierra, R. (2006). *Fitorremediación de un Suelo Contaminado con Plomo por Actividad Industrial*. Buenavista: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

- Somerset, C. S. (2005). *Alkaline hydrothermal zeolites synthesized from high SiO₂ and Al*. Bellville: University of the Western Cape. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/222668560_Alkaline_hydrothermal_zeolites_synthesized_from_high_SiO₂_and_Al₂O₃_co-disposal_fly_ash_filtrates](https://www.researchgate.net/publication/222668560_Alkaline_hydrothermal_zeolites_synthesized_from_high_SiO2_and_Al2O3_co-disposal_fly_ash_filtrates)
- Suastegui, A. (1997). *"Análisis de los modelos en transferencia de masa para los empaques estructurados"*. Toluca: Instituto Tecnológico de Toluca.
- Sucari, A. (2022). *Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín*. Junín: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Torres, M. (2012). *La fisiología de la absorción y conducción de agua y minerales a través del xilema en plantas vasculares y el desarrollo de la inteligencia visual y espacial como propuesta para su aprendizaje*.
- Torres, P., & Armando, J. (2013). *Remoción de metales pesados de los efluentes de la mina Marcapunta Oeste*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_77e8250870fb88f9362aaeb71a6959a4/Description#tabnav
- Trujillo, J. K. (2022). *Optimización de la remoción de hierro del drenaje ácido de mina del pasivo ambiental minero de Mesapata, Recuay - Áncash, 2020 - 2021*. Áncash.
- Vargas, L. (2021). *Propuesta del diseño estructural del sistema wetland (Humedal) para el tratamiento de aguas ácidas, para el cierre de minas de la unidad minera Anabi S.A.C en el distrito de Quiñota-Cusco, 2019*. Lima: Universidad Privada del Norte.
- Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educativa*, 159-160.
- Zevallos, J. F. (2016). *Estabilización de drenaje ácido de mina de la empresa paraíso perdido pata*. Junín . Huancayo: Universidad nacional del centro del Perú. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4587/Zevallos%20S..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Apéndice

Apéndice A

Tabla 28

Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones de las variables	Métodos y técnicas	
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	<p style="text-align: center;">Variable independiente</p> <p>Sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA)</p>	Dimensión – 1	<p>Tipo: Aplicado</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Métodos: Científico, Hipotético-deductivo y experimental.</p> <p>Población y Muestra</p> <p>Población: La población de la investigación es el efluente del drenaje ácido de mina de la bocamina Poderosa.</p> <p>Muestra: El caudal que ingresa a cada unidad del humedal.</p> <p>Selección de muestra: No probabilístico de tipo intencionado con tipo de muestreo por conveniencia.</p> <p>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</p> <p>Técnicas: La técnica de recolección de datos ha sido la observación, a través de instrumentos y equipos de medición, obteniendo información de campo como de laboratorio, se registra en una ficha (Carrillo, 2011).</p> <p>Procesamiento de información: A partir de criterios para determinar la eficiencia del sistema se manejó la conocida estadística descriptiva y como prueba de contrastación la distribución de T- Student con un nivel de confiabilidad del 95%, tanto al inicio y final de la prueba de tratamiento de drenaje ácido. Se ejecuto el análisis de nuestros datos procesados como también</p>	
¿Cuál será la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?	Determinar la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.	El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), son eficientes en cuanto a la remoción de metales pesados para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.		Variable dependiente		Dimensión – 2
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		Variable dependiente		Dimensión – 2
¿Cuál será la eficiencia de remoción del cobre (Cu) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?	Determinar la eficiencia de remoción del cobre (Cu) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.	El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), muestra una eficiencia mayor a 24.0%, en cuanto a la remoción de cobre (Cu) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.				
¿Cuál será la eficiencia de remoción del plomo (Pb) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?	Determinar la eficiencia de remoción del plomo (Pb) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.	El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), muestra una eficiencia mayor a 27.5%, en cuanto a la remoción de plomo (Pb) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.		<ul style="list-style-type: none"> • Cobre (Cu) 		

<p>¿Cuál será la eficiencia de remoción del zinc (Zn) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?</p>	<p>Determinar la eficiencia de remoción del zinc (Zn) mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.</p>	<p>El sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), muestra una eficiencia mayor a 23.5%, en cuanto a la remoción de zinc (Zn) para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.</p>	<p>Eficiencia de remoción de los metales pesados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo (Pb) • Zinc (Zn) 	<p>haciendo la comparación con el D.S. N° 010-2010 - MINAM los cuales aprueban los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, valorando de manera que los parámetros logren cumplir con dicha norma y que próximos proyectos consideren esta investigación como parte inicial.</p>
<p>¿Cuál será la calidad de los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA) en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021?</p>	<p>Evaluar la calidad de los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA) en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.</p>	<p>La calidad de los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), cumplen con los límites máximos permisibles (LMP), en comparación con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgicas, para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.</p>			

Fuente: Elaboración propia

Apéndice B

Figura 35

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividad minero - metalúrgicas

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

Fuente: D.S. 010 – MINAM (Ministerio del Ambiente).

Figura 36

Formato – hoja de custodia

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA										PRESERVACION					N°			
COMPANIA/CLIENTE:			OTRO															
UNIDAD OPERATIVA:			Lugar															
DIRECCION:			Zn															
PERSONA DE CONTACTO:			RUC															
TELEFONO / E-mail:			R2304															
CONTRATO / OTRA REF:			R1003															
ENVIAR FACTURA (CLIENTE/TERCERO)										ANALISIS REQUERIDOS								
RAZON SOCIAL										Parametros Laboratorio							Parametros in Situ (3)	
RUC																		
DOMICILIO																		
NOMBRE DEL PROYECTO																		
LUGAR DE MUESTREO																		
ITEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	MUESTREO		TIPO DE MUESTRA/ MTRIZ (2)	Coordinador LTM (WGS84) HUSO	ALTITUD (metros)	N° DE ENVASES	Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra									
			FECHA	HORA (24.00)					pH	Conductividad	Temperatura (°C)	Cloruros (mg/l)	OBSERVACION					
1																		
2																		
3																		
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Termal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Domestica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Envasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas, Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lavación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección; (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio. Indicar parámetros y valor obtenido.																		
MUESTREO REALIZADO POR:										OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE				
Lab. RCJ			Cliente			Verificación intermedia de la Temperatura (°C)				Nombre:								
Responsable:										Cargo:								
Firma:										Firma:								
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS																		
Entregado por:			Hora			Proveedor de envases para muestra				Cliente		Lab. RCJ						
Recibido por:			Hora (24.00)			Temperatura de ingreso Laboratorio				Condiciones de la(s) Muestra (s)								
Fecha: (dd-mm-aa)						Firma y Sello												

Figura 37

Etiqueta de muestreo del drenaje acido de mina

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA	
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria	
 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LOS METALES PESADOS MEDIANTE EL SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL CON <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), PARA EL TRATAMIENTO DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINAS (DAM) EN LA BOCAMINA PODEROSA – HUACHOCOLPA, 2021 	
Responsable:	_____
Fecha:	_____
Hora:	_____
N° de muestra:	_____
Parámetro:	_____
Preservada:	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
Punto de Muestra:	_____
Observaciones:	_____

Figura 39

Hoja de custodia - 1er monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												PAG. 01 de 20							
COMPANIA/CLIENTE: Universidad Nacional de Huancayo										PRESERVACION				N°					
UNIDAD OPERATIVA: Direccion										Zona				NACH					
PERSONA DE CONTACTO: Espinoza Hermanos Flores										NACH				NACH					
TELEFONO / E-mail: numero@gmail.com										NACH				NACH					
CONTRATO / OTRA REF:										NACH				NACH					
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)										ANALISIS REQUERIDOS									
RAZON SOCIAL										Parametros Laboratorio			Parametros in Situ (S)			OBSERVACION			
RUC										Cobre (Cu)			Plomo (Pb)			Zinc (Zn)		pH	
DOMICILIO										Conductividad			Temperatura (°C)			D.O. (mg/l)		OBSERVACION	
NOMBRE DEL PROYECTO										Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra									
LUGAR DE MUESTREO																			
IDM	COORDENADAS DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	FECHA	HORA (24:00)	TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (2)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO	ALTITUD (metros)	N° DE FRASCOS											
1	A1		01/03/22	09:00	Agua residual	N: 9526441 E: 6202070	4230	02	✓	✓	✓								
2	A2		01/03/22	09:00	Agua residual	N: 9526441 E: 6202070	4230	02	✓	✓	✓								
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			

(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Fotable, Mesa, Envasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección. (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el Informe de laboratorio: Indicar parámetros y valor obtenido.

MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE			
Lab. RCI	Cliente	Verificación intermedia de la Temperatura (°C)	Nombre:								
Responsable:	Esposito H. Max J.		Max J. Esposito								
Firma:	[Firma]		[Firma]								

LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS			
Entregado por:	Recebido por:	Fecha: (dd-mm-aa)	HORA (24:00)

Figura 40

Hoja de custodia - 2do monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												PAG. de de							
COMPANIA/CLIENTE: Universidad Nacional de Huancayo										PRESERVACION				N°					
UNIDAD OPERATIVA: Direccion										Zona				NACH					
PERSONA DE CONTACTO: Espinoza Hermanos Flores										NACH				NACH					
TELEFONO / E-mail: numero@gmail.com										NACH				NACH					
CONTRATO / OTRA REF:										NACH				NACH					
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)										ANALISIS REQUERIDOS									
RAZON SOCIAL										Parametros Laboratorio			Parametros in Situ (S)			OBSERVACION			
RUC										Cobre (Cu)			Plomo (Pb)			Zinc (Zn)		pH	
DOMICILIO										Conductividad			Temperatura (°C)			D.O. (mg/l)		OBSERVACION	
NOMBRE DEL PROYECTO										Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra									
LUGAR DE MUESTREO																			
IDM	COORDENADAS DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	FECHA	HORA (24:00)	TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (2)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO	ALTITUD (metros)	N° DE FRASCOS											
1	A3		04/03/22	08:00	Agua residual	N: 9526441 E: 6202070	4230	02	✓	✓	✓								
2	A4		04/03/22	08:00	Agua residual	N: 9526441 E: 6202070	4230	02	✓	✓	✓								
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			

(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Fotable, Mesa, Envasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección. (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el Informe de laboratorio: Indicar parámetros y valor obtenido.

MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE			
Lab. RCI	Cliente	Verificación intermedia de la Temperatura (°C)	Nombre:								
Responsable:	Esposito H. Max J.		Esposito H. Max J.								
Firma:	[Firma]		[Firma]								

LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS			
Entregado por:	Recebido por:	Fecha: (dd-mm-aa)	HORA (24:00)

Figura 41

Hoja de custodia - 3er monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___				
COMPANIA/CLIENTE: Universidad Nacional de Heredia				PRESERVACION				N°								
UNIDAD OPERATIVA:				OTRO:												
DIRECCION:				CATEG:												
PERSONA DE CONTACTO: Espinosa Herrera Max J.				NACION:												
TELEFONO / E-mail: jspinosah@unaheredia.ac.cr				M2504:												
CONTRATO / OTRA REF:				M2504:												
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)				ANALISIS REQUERIDOS												
RAZON SOCIAL:				Parametros Laboratorio				Parametros In Situ (3)								
RUC:				Cobre (Cu)				pH								
DOMICILIO:				Plomo (Pb)				Conductividad								
NOMBRE DEL PROYECTO:				Zinc (Zn)				Temperatura								
LUGAR DE MUESTREO:				N° DE MUESTRAS				O.D. (ppm)								
				Indicar con una (X) los recuadros inferiores segun los analisis requeridos por cada muestra												
ITEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	FECHA	HORA	TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (2)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO.	ALTITUD (metros)	N° DE MUESTRAS	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	pH	Conductividad	Temperatura	O.D. (ppm)	OBSERVACION
1	B1	08/03/22	09:30	Agua residual	N: 8254011 E: 5070400	4230	02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
2	B2	08/03/22	09:30	Agua residual	N: 8254011 E: 5070400	4234	02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
3																
4																
5																
6																
7																
8																
(1) Informacion Ingresada en Recepcion; (2) MATRIZ: Agua natural: Subteranea (Manantial, Terminal), Superficial (Rio, Laguna/Lago, Deposicion atmosferica); Agua Residual: Domestica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Envasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulacion, Alimentacion para Calderas, Calderas, Lixiviacion, Purificada, Agua de Inyeccion y Reinyeccion, (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parametros in situ se muestren en el Informe de laboratorio: Indicar parametros y valor obtenido.																
INFORMACION DEL MUESTREO																
MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE								
Lab. RCJ				Verificacion Intermedia de la Temperatura (°C)				Nombre: Ricardo D. Meza								
Responsable: Espinosa H. Max J.								Cargo: Investigador								
Firma: [Firma]								Firma: [Firma]								
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS																
Entregado por:				Proveedor de envases para muestra:				Cliente				Lab. RCJ				
Recibido por:				Temperatura de Ingreso Laboratorio:												
Fecha: (dd-mm-aa)				Hora: (24:00)				Firma y Sello				Condicion de la(s) Muestra (s)				

Figura 42

Hoja de custodia - 4to monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___				
COMPANIA/CLIENTE: UNH				PRESERVACION				N°								
UNIDAD OPERATIVA:				OTRO:												
DIRECCION:				CATEG:												
PERSONA DE CONTACTO: Espinosa Herrera Max J.				NACION:												
TELEFONO / E-mail: jspinosah@unaheredia.ac.cr				M2504:												
CONTRATO / OTRA REF:				M2504:												
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)				ANALISIS REQUERIDOS												
RAZON SOCIAL:				Parametros Laboratorio				Parametros In Situ (3)								
RUC:				Cobre (Cu)				pH								
DOMICILIO:				Plomo (Pb)				Conductividad								
NOMBRE DEL PROYECTO:				Zinc (Zn)				Temperatura								
LUGAR DE MUESTREO:				N° DE MUESTRAS				O.D. (ppm)								
				Indicar con una (X) los recuadros inferiores segun los analisis requeridos por cada muestra												
ITEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	FECHA	HORA	TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (2)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO.	ALTITUD (metros)	N° DE MUESTRAS	Cobre (Cu)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	pH	Conductividad	Temperatura	O.D. (ppm)	OBSERVACION
1	B3	11/03/22	08:30	Agua residual	N: 8254011 E: 5070400	4230	02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
2	B4	11/03/22	08:30	Agua residual	N: 8254011 E: 5070400	4234	02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
3																
4																
5																
6																
7																
8																
(1) Informacion Ingresada en Recepcion; (2) MATRIZ: Agua natural: Subteranea (Manantial, Terminal), Superficial (Rio, Laguna/Lago, Deposicion atmosferica); Agua Residual: Domestica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Envasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulacion, Alimentacion para Calderas, Calderas, Lixiviacion, Purificada, Agua de Inyeccion y Reinyeccion, (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parametros in situ se muestren en el Informe de laboratorio: Indicar parametros y valor obtenido.																
INFORMACION DEL MUESTREO																
MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE								
Lab. RCJ				Verificacion Intermedia de la Temperatura (°C)				Nombre: Ricardo D. Meza								
Responsable: Ricardo D. Meza								Cargo: [Cargo]								
Firma: [Firma]								Firma: [Firma]								
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS																
Entregado por:				Proveedor de envases para muestra:				Cliente				Lab. RCJ				
Recibido por:				Temperatura de Ingreso Laboratorio:												
Fecha: (dd-mm-aa)				Hora: (24:00)				Firma y Sello				Condicion de la(s) Muestra (s)				

Figura 45

Hoja de custodia - 7mo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___	
COMPANIA/CLIENTE: UNH				PRESERVACION								N°	
UNIDAD OPERATIVA:				OTRO:								Lugar:	
DIRECCION:				Zn:								NACH:	
PERSONA DE CONTACTO: Espinosa H. Max J				H2SO4:								HNO3:	
TELEFONO / E-mail: EspinosaH@gmail.com				ANALISIS REQUERIDOS								Parametros In Situ (3)	
CONTRATO / OTRA REF. ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)				Parametros Laboratorio								pH	
RAZON SOCIAL				Conductividad								Temperatura (°C)	
RUC				D.O. (mg/l)								OBSERVACION	
DOMICILIO				Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra									
NOMBRE DEL PROYECTO													
LUGAR DE MUESTREO													
ITEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	FECHA	HORA (24.00)	TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (2)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO	ALTITUD (metros)	N° DE FRASCOS					
1	D1		27/03/21	09:00	Agua Residual	N: 3534201 E: 571238	4230	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	D2		27/03/21	09:00	Agua Residual	N: 3534201 E: 571238	4230	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3													
4													
5													
6													
7													
8													
(1) Información ingresada en Receptor: (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lavíación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección. (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio: indicar parámetros y valor obtenido.													
MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENTES				SUPERVISOR / CLIENTE					
Lab. RCJ Cliente								Nombre: Max J. Espinosa					
Responsable: Espinosa H. Max J				Verificación intermedia de la Temperatura (°C)				Cargo: Investigador					
Firma: [Firma]								Firma: [Firma]					
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS													
Entregado por:				Fecha: (dd-mm-aa)				Hora: (24-00)					
Recibido por:								Proveedor de envases para muestra:					
								Temperatura de Ingreso Laboratorio:					
								Condición de la(s) Muestra (s):					
				Firma y Sello									

Figura 46

Hoja de custodia - 8vo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___	
COMPANIA/CLIENTE: UNH				PRESERVACION								N°	
UNIDAD OPERATIVA:				OTRO:								Lugar:	
DIRECCION:				Zn:								NACH:	
PERSONA DE CONTACTO: Espinosa H. Max J				H2SO4:								HNO3:	
TELEFONO / E-mail: EspinosaH@gmail.com				ANALISIS REQUERIDOS								Parametros In Situ (3)	
CONTRATO / OTRA REF. ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)				Parametros Laboratorio								pH	
RAZON SOCIAL				Conductividad								Temperatura (°C)	
RUC				D.O. (mg/l)								OBSERVACION	
DOMICILIO				Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra									
NOMBRE DEL PROYECTO													
LUGAR DE MUESTREO													
ITEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	FECHA	HORA (24.00)	TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (2)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO	ALTITUD (metros)	N° DE FRASCOS					
1	D3		27/03/21	09:00	Agua Residual	N: 3534201 E: 571238	4230	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	D4		27/03/21	09:00	Agua Residual	N: 3534201 E: 571238	4230	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3													
4													
5													
6													
7													
8													
(1) Información ingresada en Receptor: (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lavíación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección. (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio: indicar parámetros y valor obtenido.													
MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENTES				SUPERVISOR / CLIENTE					
Lab. RCJ Cliente								Nombre: RICARDO D. REZA					
Responsable: ALVARO H. R.				Verificación intermedia de la Temperatura (°C)				Cargo: Investigador					
Firma: [Firma]								Firma: [Firma]					
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS													
Entregado por:				Fecha: (dd-mm-aa)				Hora: (24-00)					
Recibido por:								Proveedor de envases para muestra:					
								Temperatura de Ingreso Laboratorio:					
								Condición de la(s) Muestra (s):					
				Firma y Sello									

Figura 47

Hoja de custodia - 9no monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ____ de ____			
COMPAÑÍA/CLIENTE: UNH				PRESERVACION								N°			
UNIDAD OPERATIVA:				Logot											
DIRECCION:				Za											
PERSONA DE CONTACTO: Espinoza H. Max J.				NAOH											
TELÉFONO / E-mail: Ismael.Rojas@unh.com				H2SO4											
CONTRATO / OTRA REF:				HNO3											
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)				ANÁLISIS REQUERIDOS											
RAZÓN SOCIAL:				Parámetros Laboratorio				Parámetros In Situ (3)							
RUC:				pH				Conductividad				Temperatura (°C)			
DOMICILIO:				D.O. (mg/l)				OBSERVACION							
NOMBRE DEL PROYECTO:				Código de Laboratorio				Punto de Muestreo				Fecha y Hora			
LUGAR DE MUESTREO:				Tipo de Muestra				Coordenadas UTM (WGS84)				Altitud (metros)			
				N° de Análisis				Indicar con una (X) los requisitos inferiores según los análisis requeridos por cada muestra							
1	E1	29/03/22	10:00	Agua Residual	N: 952469 E: 524078	4220	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	E2	29/03/22	10:00	Agua Residual	N: 952469 E: 524078	4220	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3															
4															
5															
6															
7															
8															
(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Envasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección; (3) IN STU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio: Indicar parámetros y valor obtenido.															
INFORMACION DEL MUESTREO															
MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENCIAS								SUPERVISOR / CLIENTE			
Lab. RCI: Cliente				Verificación intermedia de la Temperatura (°C)								Nombre: Max Espinoza			
Responsable: Espinoza H. Max												Cargo: Interventor			
Firma: [Firma]												Firma: [Firma]			
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS															
Entregado por:				Proveedor de envases para muestra:								Cliente			
Recibido por:				Temperatura de Ingreso Laboratorio:								Lab. RCI			
Fecha: (dd-mm-aa)				Hora (24:00)								Firma y Sello			

Figura 48

Hoja de custodia - 10mo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ____ de ____			
COMPAÑÍA/CLIENTE: UNH				PRESERVACION								N°			
UNIDAD OPERATIVA:				Logot											
DIRECCION:				Za											
PERSONA DE CONTACTO: Espinoza H. Max J.				NAOH											
TELÉFONO / E-mail: Ismael.Rojas@unh.com				H2SO4											
CONTRATO / OTRA REF:				HNO3											
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)				ANÁLISIS REQUERIDOS											
RAZÓN SOCIAL:				Parámetros Laboratorio				Parámetros In Situ (3)							
RUC:				pH				Conductividad				Temperatura (°C)			
DOMICILIO:				D.O. (mg/l)				OBSERVACION							
NOMBRE DEL PROYECTO:				Código de Laboratorio				Punto de Muestreo				Fecha y Hora			
LUGAR DE MUESTREO:				Tipo de Muestra				Coordenadas UTM (WGS84)				Altitud (metros)			
				N° de Análisis				Indicar con una (X) los requisitos inferiores según los análisis requeridos por cada muestra							
1	E3	01/04/22	10:00	Agua Residual	N: 952469 E: 524078	4220	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	E4	01/04/22	10:00	Agua Residual	N: 952469 E: 524078	4220	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3															
4															
5															
6															
7															
8															
(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Envasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección; (3) IN STU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio: Indicar parámetros y valor obtenido.															
INFORMACION DEL MUESTREO															
MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENCIAS								SUPERVISOR / CLIENTE			
Lab. RCI: Cliente				Verificación intermedia de la Temperatura (°C)								Nombre: RICARDO A. MEZA			
Responsable: RICARDO A. MEZA												Cargo: Interventor			
Firma: [Firma]												Firma: [Firma]			
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS															
Entregado por:				Proveedor de envases para muestra:								Cliente			
Recibido por:				Temperatura de Ingreso Laboratorio:								Lab. RCI			
Fecha: (dd-mm-aa)				Hora (24:00)								Firma y Sello			

Figura 49

Hoja de custodia - 11vo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___											
COMPAÑIA/CLIENTE: UNH UNIDAD OPERATIVA: DIRECCION: PERSONA DE CONTACTO: Max E. Huaman TELEFONO / E-mail: max@unh.com CONTRATO / OTRA REF.:						OTRO: Lugar Zn NAGH H2SO4 HNO3						PRESERVACION N°											
RAZON SOCIAL: RUC: DOMICILIO: NOMBRE DEL PROYECTO: LUGAR DE MUESTREO:						ANALISIS REQUERIDOS Parametros Laboratorio Parametros In Situ (B)						pH Conductividad Temp. (°C) O.D. (mg/l) OBSERVACION											
Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra																							
1	F1	05/04/22	08:00	Agua Residual	N: E52649 E: E52649	1230	02	X	X	X													
2	F2	05/04/22	08:00	Agua Residual	N: E52649 E: E52649	1230	02	X	X	X													
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
(1) Información Ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposición atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Placina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección; (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio; indicar parámetros y valor obtenido.																							
INFORMACION DEL MUESTREO MUESTREO REALIZADO POR: Lab. RCI: Cliente Responsable: Max E. Huaman Firma: [Firma]												OBSERVACIONES / INCIDENCIAS						SUPERVISOR / CLIENTE Nombre: Max E. Huaman Cargo: Investigador Firma: [Firma]					
Entregado por: Recibido por: Fecha: dd-mm-aa												LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS Hora: 24:00						Firma y Sello					

Figura 50

Hoja de custodia - 12avo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___											
COMPAÑIA/CLIENTE: UNH UNIDAD OPERATIVA: DIRECCION: PERSONA DE CONTACTO: Espinosa Huaman Max Lima TELEFONO / E-mail: max@unh.com CONTRATO / OTRA REF.:						OTRO: Lugar Zn NAGH H2SO4 HNO3						PRESERVACION N°											
RAZON SOCIAL: RUC: DOMICILIO: NOMBRE DEL PROYECTO: LUGAR DE MUESTREO:						ANALISIS REQUERIDOS Parametros Laboratorio Parametros In Situ (B)						pH Conductividad Temp. (°C) O.D. (mg/l) OBSERVACION											
Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra																							
1	F3	05/04/22	09:00	Agua Residual	N: E52649 E: E52649	1230	02	X	X	X													
2	F4	05/04/22	09:00	Agua Residual	N: E52649 E: E52649	1230	02	X	X	X													
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
(1) Información Ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposición atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Placina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección; (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio; indicar parámetros y valor obtenido.																							
INFORMACION DEL MUESTREO MUESTREO REALIZADO POR: Lab. RCI: Cliente Responsable: RICARDO A. MEZA Firma: [Firma]												OBSERVACIONES / INCIDENCIAS						SUPERVISOR / CLIENTE Nombre: Ricardo A. Meza Cargo: Investigador Firma: [Firma]					
Entregado por: Recibido por: Fecha: dd-mm-aa												LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS Hora: 24:00						Firma y Sello					

Figura 51

Hoja de custodia - 13avo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___		
COMPAÑIA/CLIENTE: UNH				OTRO: _____				PRESERVACION: _____				N°: _____		
UNIDAD OPERATIVA: _____				Lugar: _____										
DIRECCION: _____				Zn: _____										
PERSONA DE CONTACTO: Espinoza H. Max I.				NADH: _____										
TELEFONO / E-mail: max@unh.gob.cl				HDSO4: _____										
CONTRATO / OTRA REF: _____				HN03: _____										
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)				ANALISIS REQUERIDOS										
RAZON SOCIAL: _____				Parametros Laboratorio				Parametros In Situ (3)						
RUC: _____				Cobre (Cu)				pH						
DOMICILIO: _____				Plomo (Pb)				Conductividad						
NOMBRE DEL PROYECTO: _____				Zinc (Zn)				Temperatura (°C)						
LUGAR DE MUESTREO: _____				O.D. (mg/l)				OBSERVACION						
IDEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	MUESTREO	TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (2)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO.	ALTITUD (metros)	N° DE FRASCOS	Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra						
			FECHA	HORA (24:00)										
1	G1		12/04/22	09:10	Agua Residual	N: 8534411 E: 7027278	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	G2		12/04/22	09:10	Agua Residual	N: 8534411 E: 7027278	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3														
4														
5														
6														
7														
8														
(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terrenal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Agua de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Retrieycción; (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el Informe de laboratorio: Indicar parámetros y valor obtenido.														
INFORMACION DEL MUESTREO														
MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENCIAS:				SUPERVISOR / CLIENTE						
Lab. RCJ		Cliente		Verificación intermedia de la Temperatura (°C)				Nombre: Espinoza H. Max						
Responsable: Espinoza H. Max		Firma: [Firma]						Cargo: Investigador						
Entregado por:		Recibido por:						LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS						
Fecha: (dd-mm-aa)		HORA (24:00)		Firma y Sello				Proveedor de envases para muestra:				Cliente		
								Temperatura de Ingreso Laboratorio:				Lab. RCJ		
								Condición de la(s) Muestra (s)						

Figura 52

Hoja de custodia - 14avo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___		
COMPAÑIA/CLIENTE: UNH				OTRO: _____				PRESERVACION: _____				N°: _____		
UNIDAD OPERATIVA: _____				Lugar: _____										
DIRECCION: _____				Zn: _____										
PERSONA DE CONTACTO: Espinoza H. Max I.				NADH: _____										
TELEFONO / E-mail: max@unh.gob.cl				HDSO4: _____										
CONTRATO / OTRA REF: _____				HN03: _____										
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)				ANALISIS REQUERIDOS										
RAZON SOCIAL: _____				Parametros Laboratorio				Parametros In Situ (3)						
RUC: _____				Cobre (Cu)				pH						
DOMICILIO: _____				Plomo (Pb)				Conductividad						
NOMBRE DEL PROYECTO: _____				Zinc (Zn)				Temperatura (°C)						
LUGAR DE MUESTREO: _____				O.D. (mg/l)				OBSERVACION						
IDEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	MUESTREO	TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (2)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO.	ALTITUD (metros)	N° DE FRASCOS	Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra						
			FECHA	HORA (24:00)										
1	G3		13/04/22	08:30	Agua Residual	N: 8534411 E: 7027278	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	G4		13/04/22	08:30	Agua Residual	N: 8534411 E: 7027278	02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3														
4														
5														
6														
7														
8														
(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terrenal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Agua de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Retrieycción; (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el Informe de laboratorio: Indicar parámetros y valor obtenido.														
INFORMACION DEL MUESTREO														
MUESTREO REALIZADO POR:				OBSERVACIONES / INCIDENCIAS:				SUPERVISOR / CLIENTE						
Lab. RCJ		Cliente		Verificación intermedia de la Temperatura (°C)				Nombre: RICARDO A. MEZA						
Responsable: RICARDO A. MEZA		Firma: [Firma]						Cargo: Investigador						
Entregado por:		Recibido por:						LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS						
Fecha: (dd-mm-aa)		HORA (24:00)		Firma y Sello				Proveedor de envases para muestra:				Cliente		
								Temperatura de Ingreso Laboratorio:				Lab. RCJ		
								Condición de la(s) Muestra (s)						

Figura 53

Hoja de custodia - 15avo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pág. ___ de ___							
PRESERVACION										N°.									
COMPANIA/CLIENTE:		UNH								OTRO:									
UNIDAD OPERATIVA:										Lugar:									
DIRECCION:										Zn:									
PERSONA DE CONTACTO:		Max L. E. Espinosa								NAOH:									
TELEFONO / E-mail:		15-800-000000								H2SO4:									
CONTRATO / OTRA REF.:										HNO3:									
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)												ANALISIS REQUERIDOS							
RAZON SOCIAL												Parametros Laboratorio				Parametros in Situ (E)			
RUC																			
DOMICILIO																			
NOMBRE DEL PROYECTO																			
LUGAR DE MUESTREO																			
IDEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	MUESTREO		TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (Z)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO.	ALTITUD (metros)	N° DE PARAJES	Cable (Cw)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)	D.O. (mg/l)	OBSERVACION			
			FECHA	HORA (24:00)															
1	H1		19/04/22	09:00	Agua Residual	N: 502491 E: 804222	41234	02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
2	H2		19/04/22	09:00	Agua Residual	N: 502491 E: 804222	41234	02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra																			
(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Río, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección, (E) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el Informe de laboratorio: Indicar parámetros y valor obtenido.																			
MUESTREO REALIZADO POR:												OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE			
Lab. RCJ		Cliente		Verificación intermedia de la Temperatura (°C)								Nombre: Max L. Espinosa							
Responsable:		Max L. Espinosa H.										Cargo: Investigador							
Firma:		<i>[Firma]</i>										Firma:		<i>[Firma]</i>					
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS																			
Entregado por:		Recebido por:		HORA (24:00)								Proveedor de envases para muestra:		Cliente					
Fecha: (dd-mm-aa)												Temperatura de Ingreso Laboratorio:		Lab. RCJ					
												Condición de la(s) Muestra (s)							
												Firma y Sello							

Figura 54

Hoja de custodia - 16avo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pág. ___ de ___							
PRESERVACION										N°.									
COMPANIA/CLIENTE:		UNH								OTRO:									
UNIDAD OPERATIVA:										Lugar:									
DIRECCION:										Zn:									
PERSONA DE CONTACTO:		Espinosa H. Max L.								NAOH:									
TELEFONO / E-mail:		15-800-000000								H2SO4:									
CONTRATO / OTRA REF.:										HNO3:									
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)												ANALISIS REQUERIDOS							
RAZON SOCIAL												Parametros Laboratorio				Parametros in Situ (E)			
RUC																			
DOMICILIO																			
NOMBRE DEL PROYECTO																			
LUGAR DE MUESTREO																			
IDEM	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	MUESTREO		TIPO DE MUESTRA/ATRIZ (Z)	Coordenadas UTM (WGS84) HUSO.	ALTITUD (metros)	N° DE PARAJES	Cable (Cw)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	pH	Conductividad	Temperatura (°C)	D.O. (mg/l)	OBSERVACION			
			FECHA	HORA (24:00)															
1	H3		22/04/22	10:30	Agua Residual	N: 502491 E: 804222	41234	02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
2	H4		22/04/22	10:30	Agua Residual	N: 502491 E: 804222	41234	02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra																			
(1) Información ingresada en Recepción; (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Río, Laguna/Lago, Deposition atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificada, Agua de Inyección y Reinyección, (E) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el Informe de laboratorio: Indicar parámetros y valor obtenido.																			
MUESTREO REALIZADO POR:												OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE			
Lab. RCJ		Cliente		Verificación intermedia de la Temperatura (°C)								Nombre: RICARDO A MEZA							
Responsable:		Ricardo A Meza										Cargo: Investigador							
Firma:		<i>[Firma]</i>										Firma:		<i>[Firma]</i>					
LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS																			
Entregado por:		Recebido por:		HORA (24:00)								Proveedor de envases para muestra:		Cliente					
Fecha: (dd-mm-aa)												Temperatura de Ingreso Laboratorio:		Lab. RCJ					
												Condición de la(s) Muestra (s)							
												Firma y Sello							

Figura 55

Hoja de custodia - 17avo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___			
COMPANIA/CLIENTE										PRESERVACION				N°	
UNIDAD OPERATIVA: UNH										OTRO					
DIRECCION: Espinosa Hermanos Max J										Lugar					
PERSONA DE CONTACTO: Espinosa Hermanos Max J										Zona					
TELEFONO / E-mail: maxj@egmail.com										NACION					
CONTRATO / OTRA REF:										H2504					
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)										HND03					
RAZON SOCIAL										ANALISIS REQUERIDOS				Parametros In Situ (3)	
RUC										Parametros Laboratorio				pH	
DOMICILIO										Conductividad				Temperatura (°C)	
NOMBRE DEL PROYECTO										O.D. (l/m³)				OBSERVACION	
LUGAR DE MUESTREO										Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra					
ORDEN	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	MUESTREO		TIPO DE MUESTRA	Coordenadas UTM (WGS84) ATIRZ (Z)	Altitud (metros)	N° DE FRANCO	ANÁLISIS REQUERIDOS			OBSERVACION			
			FECHA	HORA (24:00)	AGUA RESIDUAL	N: 8505669 E: 8505669			Cobre (Co)	Ploomo (Pb)	Zinc (Zn)				
1	I1		24/04/22	08:30	Agua Residual	N: 8505669 E: 8505669	02	X	X	X					
2	I2		24/04/22	08:30	Agua Residual	N: 8505669 E: 8505669	02	X	X	X					
3															
4															
5															
6															
7															
8															
(1) Información ingresada en Recepción: (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposición atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificación, Agua de Inyección y Reinyección; (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio: indicar parámetros y valor obtenido.															
MUESTREO REALIZADO POR:										OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE	
Lab. RCJ: Cliente										Responsable: Max Espinosa H				Nombre: Max J. Espinosa	
Firma: [Firma]										Verificación Intermedia de la Temperatura (°C)				Cargo: Investigador	
Firma: [Firma]														Firma: [Firma]	
ENTREGADO POR:										LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS				CLIENTE	
Recibido por:										Proveedor de envases para muestra:				Lab. RCJ	
Fecha: (dd-mm-aa)										Hora: (24:00)				Firma y Sello	
										Temperatura de Ingreso Laboratorio:					
										Condición de la(s) Muestra (s):					

Figura 56

Hoja de custodia - 18avo monitoreo

CADENA DE CUSTODIA DE AGUA												Pag. ___ de ___			
COMPANIA/CLIENTE										PRESERVACION				N°	
UNIDAD OPERATIVA: UNH										OTRO					
DIRECCION: Espinosa Hermanos Max J										Lugar					
PERSONA DE CONTACTO: Espinosa Hermanos Max J										Zona					
TELEFONO / E-mail: maxj@egmail.com										NACION					
CONTRATO / OTRA REF:										H2504					
ENVIAR FACTURA (CLIENTE TERCERO)										HND03					
RAZON SOCIAL										ANALISIS REQUERIDOS				Parametros In Situ (3)	
RUC										Parametros Laboratorio				pH	
DOMICILIO										Conductividad				Temperatura (°C)	
NOMBRE DEL PROYECTO										O.D. (l/m³)				OBSERVACION	
LUGAR DE MUESTREO										Indicar con una (X) los recuadros inferiores según los análisis requeridos por cada muestra					
ORDEN	CODIGO DE LABORATORIO	PUNTO DE MUESTREO	MUESTREO		TIPO DE MUESTRA	Coordenadas UTM (WGS84) ATIRZ (Z)	Altitud (metros)	N° DE FRANCO	ANÁLISIS REQUERIDOS			OBSERVACION			
			FECHA	HORA (24:00)	AGUA RESIDUAL	N: 8505669 E: 8505669			Cobre (Co)	Ploomo (Pb)	Zinc (Zn)				
1	I3		24/04/22	09:00	Agua Residual	N: 8505669 E: 8505669	02	X	X	X					
2	I4		24/04/22	09:00	Agua Residual	N: 8505669 E: 8505669	02	X	X	X					
3															
4															
5															
6															
7															
8															
(1) Información ingresada en Recepción: (2) MATRIZ: Agua natural: Subterránea (Manantial, Terminal), Superficial (Ríos, Laguna/Lago, Deposición atmosférica); Agua Residual: Doméstica, Municipal, Industrial; Agua de Consumo Humano: bebida (Potable, Mesa, Emvasada), Piscina, Laguna Artificial; Aguas Salinas: Mar, Salobre, Salmuera; Aguas de Proceso: Circulación, Alimentación para Calderas, Calderas, Lixiviación, Purificación, Agua de Inyección y Reinyección; (3) IN SITU: En caso de muestras tomadas por el cliente en donde quiera que los parámetros in situ se muestren en el informe de laboratorio: indicar parámetros y valor obtenido.															
MUESTREO REALIZADO POR:										OBSERVACIONES / INCIDENCIAS				SUPERVISOR / CLIENTE	
Lab. RCJ: Cliente										Responsable: Alvarez M. Pardo				Nombre: Pardo M. MEZA	
Firma: [Firma]										Verificación Intermedia de la Temperatura (°C)				Cargo: Investigador	
Firma: [Firma]														Firma: [Firma]	
ENTREGADO POR:										LABORATORIO - RECEPCION DE MUESTRAS				CLIENTE	
Recibido por:										Proveedor de envases para muestra:				Lab. RCJ	
Fecha: (dd-mm-aa)										Hora: (24:00)				Firma y Sello	
										Temperatura de Ingreso Laboratorio:					
										Condición de la(s) Muestra (s):					

Figura 59

Formato de recolección de datos del DAM

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL DRENAJE ÁCIDO DE MINA			
PROYECTO: Eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (TOTORA), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021.			
Responsables:	Alvarez Meza, Ricardo Espinoza Huamani, Max Lismer		
Laboratorio:	Laboratorio central de la Universidad Nacional de Huancavelica		
Parámetros Físicoquímicos			
Datos de las muestras de campo			
Punto	Fecha	Ph	T°
Afluyente	01/03/2022	3.50	10.40
Efluente	01/03/2022	3.90	10.30
Afluyente	04/03/2022	3.51	10.40
Efluente	04/03/2022	3.95	10.10
Afluyente	08/03/2022	3.62	10.30
Efluente	08/03/2022	3.93	10.00
Afluyente	11/03/2022	3.70	10.80
Efluente	11/03/2022	4.11	10.70
Afluyente	15/03/2022	3.65	10.50
Efluente	15/03/2022	3.94	10.60
Afluyente	18/03/2022	3.72	10.60
Efluente	18/03/2022	3.92	10.50
Afluyente	22/03/2022	3.76	10.30
Efluente	22/03/2022	3.90	10.30
Afluyente	25/03/2022	3.58	10.20
Efluente	25/03/2022	3.91	10.20
Afluyente	29/03/2022	3.65	10.40
Efluente	29/03/2022	3.99	10.30
Afluyente	01/04/2022	3.67	10.50
Efluente	01/04/2022	4.05	10.70
Afluyente	05/04/2022	3.80	10.20
Efluente	05/04/2022	4.02	10.10
Afluyente	08/04/2022	3.81	10.30
Efluente	08/04/2022	4.07	10.30
Afluyente	12/04/2022	3.74	11.40
Efluente	12/04/2022	4.01	11.40
Afluyente	15/04/2022	3.55	11.30
Efluente	15/04/2022	4.09	11.30
Afluyente	19/04/2022	3.65	12.30
Efluente	19/04/2022	4.10	12.30
Afluyente	22/04/2022	3.66	11.60
Efluente	22/04/2022	4.11	11.60
Afluyente	26/04/2022	3.76	11.40
Efluente	26/04/2022	4.12	11.40
Afluyente	29/04/2022	3.70	11.50
Efluente	29/04/2022	3.98	11.50
Afluyente	03/05/2022	3.60	11.60
Efluente	03/05/2022	3.94	11.60
Afluyente	06/05/2022	3.80	11.70
Efluente	06/05/2022	4.11	11.70

Figura 60

Informe de ensayo preliminar de los parámetros químicos



INFORME DE ENSAYO
RCJ-INFORME-21-MA-0011

REV. 2.1

Página 1 de 1

A solicitud de	: ESPINOZA HUAMANI MAX LISMER	
Por cuenta de	: ESPINOZA HUAMANI MAX LISMER	
Tipo de muestra	: Agua	Cantidad de Muestras : 1
Tipo de Análisis	: Reconocimiento	Fecha de Recepción : 19/05/2021
		Fecha de Ensayo : Del 19/05/2021 Al 19/05/2021
Referencia	: Nota de Servicio	

Métodos	: Absorción Atómica
----------------	---------------------

ID. Laboratorio	ID. Cliente	ELEMENTOS							
Elemento		Pb	Cu	Zn					
Método		AAS	AAS	AAS					
Unidad		mg/L	mg/L	mg/L					
Límite de Cuantificación		0.001	0.001	0.001					
MA-21/00043	MA-MAX	0.667	317.550	2645.000					

Huancayo, 19 de Mayo de 2021




MIGUEL G. CALERO ROMERO
CIP N° 233781
Responsable Lab. Química

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

Figura 61

Informe de ensayo de los parámetros químicos



INFORME DE ENSAYO
RCJ-INFORME-22-MA-0031

REV. 2.1

Página 1 de 1

A solicitud de	: RICARDO ALVAREZ MEZA	Cantidad de Muestras	: 30
Por cuenta de	: RICARDO ALVAREZ MEZA	Fecha de Recepción	: 27/05/2022
Tipo de muestra	: Agua	Fecha de Ensayo	: Del 27/05/2022
Tipo de Análisis	: Reconocimiento		

Referencia	: Nota de Servicio
-------------------	--------------------

Métodos	: Absorción Atómica
----------------	---------------------

Huancayo, 1 de Junio de 2022





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

Fotografía 1

Acondicionamiento del lecho filtrante de los humedales artificiales superficial



Fotografía 2

Identificación y recolecciones de la especie Schoenoplectus californicus (TOTORA)



Fotografía 3

Replantación y Adaptación de la especie en el sistema de humedales artificiales superficial



Fotografía 4

Instalación de válvula de control afluente del sistema de humedal artificial



Fotografía 5

Prueba de flujo en el sistema de humedales artificiales



Fotografía 6

Monitoreo del afluente del sistema de humedales artificiales



Fotografía 7

Monitoreo del efluente del sistema de humedales artificiales



Fotografía 8

Materiales esterilizados para la etapa de determinación de metales pesados



Fotografía 9

Laboratorio central de la UNH – Área de trabajo



Fotografía 10

Medición de los parámetros de campo (pH y temperatura)



Fotografía 11

Preparación de estándares de calibración



Fotografía 12

Etapa de digestión de las muestras en el equipo HOT BLOOK



Fotografía 13

Proceso de filtrado de muestras



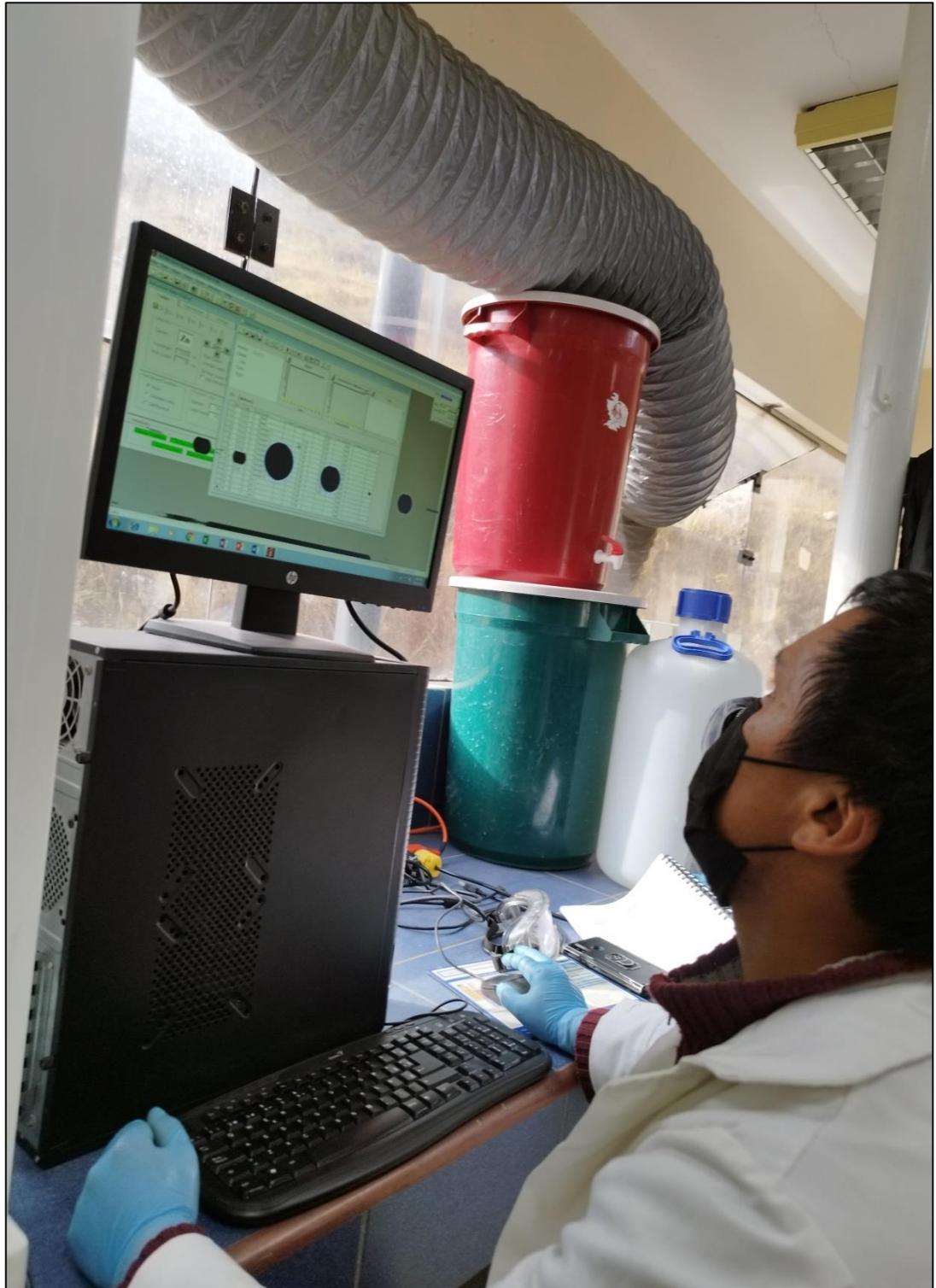
Fotografía 14

Procedimiento de análisis de muestras en el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica



Fotografía 15

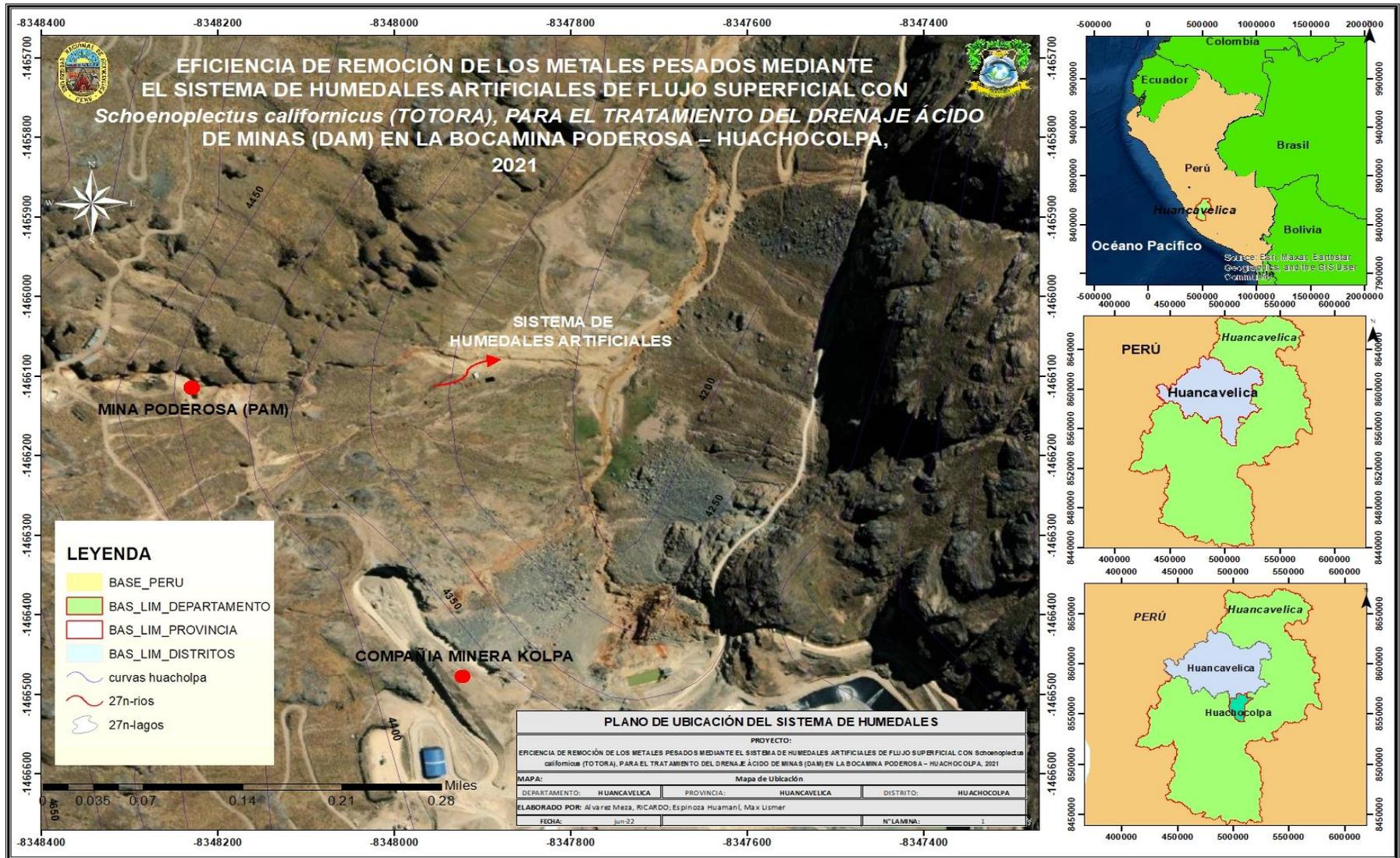
Interpretación de resultados



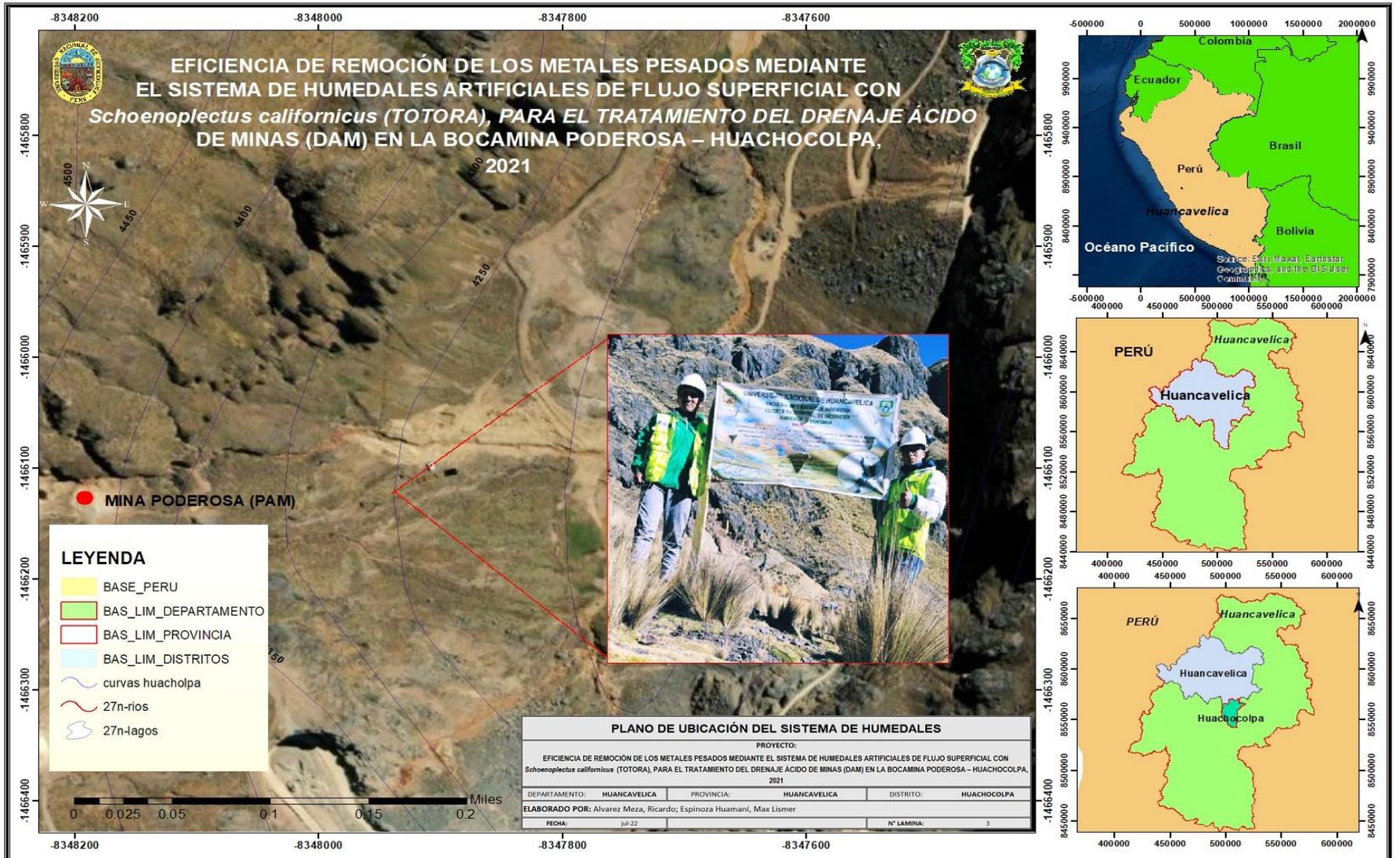
Planos

Plano 1

Plano de ubicación del proyecto de investigación



Plano 2
Plano de ubicación del sistema de humedales artificiales



Plano 3

Plano de ubicación del totoral Schoenoplectus californicus

