



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE QUÍMICA



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE
METALES CON UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES
EMPLEANDO *Schoenoplectus californicus* (TOTORA) EN LOS
EFLUENTES MINEROS EN ANANEA**

TESIS

PRESENTADA POR:

GLENIA DANITH BIAMONTE CONDORI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METALES CON UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES EMPLEANDO

AUTOR

GLENIA DANITH BIAMONTE CONDORI

RECuento DE PALABRAS

18834 Words

RECuento DE CARACTERES

104208 Characters

RECuento DE PÁGINAS

108 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

11.2MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 18, 2024 8:53 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 18, 2024 8:55 AM GMT-5

● **9% de similitud general**

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

- 9% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)



Firmado digitalmente por DONAIRES
FLORES Teofilo FAU.20145496170
soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18.11.2024 14:52:01 -05:00



Firmado digitalmente por GUILLE
CALIZAYA German FAU
20145496170 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 18.11.2024 08:59:31 -05:00

Resumen



DEDICATORIA

A Dios y a mis padres por darme la vida y apoyarme en todo momento y en cada paso de mi camino.

A mis hermanos y familiares por aconsejarme y acompañarme en mi etapa de estudiante como ahora en mi etapa profesional y Alejandra por motivarme a mejorar en mi vida personal como profesional.

A mis docentes y amigas que me apoyaron, acompañaron y motivaron en mi etapa de estudiante y hasta el momento.

A la memoria de mi abuelita Lidia para que me guie en el camino y recordar que se puede mejorar cada día.

Glenia Danith



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Lic. Caroll Noemi por considerar mi participación en el proyecto piloto 06-P-01 del Proyecto Gestión integrada de los Recursos Hídricos en el Sistema TDPS (GIRH TDPS), así mismo, a mis familiares y amigos que me apoyaron mi proyecto de investigación.

Glenia Danith



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.2.1. Problema General.....	18
1.2.2. Problemas específicos	18
1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN.....	19
1.3.1. Hipótesis General.....	19
1.3.2. Hipótesis Específicas	19
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN	20
1.4.1. Objetivo General	20
1.4.2. Objetivos Específicos.....	20

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA



2.1.	ANTECEDENTES	21
2.1.1.	Antecedentes internacionales	21
2.1.2.	Antecedentes nacionales	23
2.1.3.	Antecedentes locales	27
2.2.	MARCO TEÓRICO	28
2.2.1.	Minería en el Perú	28
2.2.2.	Efluentes Mineros	28
2.2.3.	Lagunas Artificiales	29
2.2.4.	Remoción de metales pesados.....	29
2.2.5.	Humedales Artificiales.....	30
2.2.6.	Metales pesados en lagunas artificiales	30
2.2.7.	Mercurio y cromo en lagunas artificiales.....	31
2.2.8.	Fitorremediación en la Minería.....	31
2.2.8.1.	Macrófitas	33
2.2.8.2.	Macrofita Schoenoplectus Californicus (totora)	34
2.2.8.3.	Remoción de mercurio	35
2.2.8.4.	Remoción de Cromo.....	36
2.2.8.5.	Fitorremediación con Schoenoplectus Californicus (totora).....	36
2.3.	MARCO CONCEPTUAL	37

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.	LUGAR DEL ESTUDIO	39
3.2.	TIPO Y DISEÑO DEL ESTUDIO	40
3.3.	POBLACIÓN, MUESTREO Y MUESTRA.....	40
3.3.1.	Población.....	40



3.3.2. Muestreo.....	41
3.3.3. Muestra.....	41
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	42
3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS	42
3.6. MATERIALES Y EQUIPOS.....	43
3.7. CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL POR PARTE DE QIM CONSULTORES S.A.C.	44
3.7.1. Medición del caudal	45
3.7.2. Carga Contaminante.....	45
3.7.3. Área superficial del humedal aerobio	46
3.7.4. Dimensiones del humedal	46
3.7.5. Carga Hidráulica	46
3.7.6. Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	47
3.7.7. Componentes del humedal construido	47
3.7.8. Características de desarrollo de la <i>Schoenoplectus californicus</i> (totora)..	47
3.8. PROCEDIMIENTO.....	48
3.8.1. Recolección, Análisis y Toma de Muestras	48
3.8.2. Métodos de análisis de laboratorio.....	48
3.9. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	49

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE COBRE (Cu).....	51
4.2. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE COBALTO (Co).....	53
4.3. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE CROMO (Cr)	55



4.4. RESULTADOS DEL AGUA SEGÚN PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS.....	57
4.4.1. Resultados sobre parámetros físicos químicos.....	57
4.4.2. Elementos inorgánicos	58
4.5. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE METALES EN GENERAL.....	59
4.6. DISCUSIÓN	62
V. CONCLUSIONES	67
VI. RECOMENDACIONES	69
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
ANEXOS.....	76

ÁREA: Tecnologías ambientales y áreas naturales.

TEMA: Remoción de metales con sistema de humedales artificiales.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 22 de noviembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Coordenadas de los sedimentadores y humedales del estudio.....	40
Tabla 2 Cantidad de puntos de muestreo por fecha	41
Tabla 3 Categoría 3 de Riego de vegetales y bebida de animales del ECA para aguas	43
Tabla 4 Parámetros que se tendrán en cuenta la investigación	49
Tabla 5 Eficiencia de remoción del Cobre.....	51
Tabla 6 Prueba T de Student del Afluente y Efluente del Cobre (Cu).....	52
Tabla 7 Eficiencia de remoción del Cobalto	53
Tabla 8 Prueba T de Student del Afluente y Efluente del Cobalto	54
Tabla 9 Eficiencia de remoción del Cromo	55
Tabla 10 Prueba T de Student del Afluente y Efluente del Cromo.....	56
Tabla 11 Parámetros físicos del efluente comparados con el ECA	57
Tabla 12 Parámetros químicos del efluente comparados con el ECA	58
Tabla 13 Remoción de metales pesados y prueba T de Student por metal	59



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Foto referencial de la Totora (<i>Schoenoplectus Californicus</i>)..... 35
Figura 2	Ubicación del Proyecto Piloto 06-P-01 39
Figura 3	Sistema de Biorremediación con <i>Schoenoplectus californicus</i> (totora) 45
Figura 4	Comparación de niveles de Cobre en los efluentes mineros de Ananea y el ECA 78
Figura 5	Comparación de niveles de Cobalto en los efluentes mineros de Ananea y el ECA 78
Figura 6	Comparación de niveles de Cromo en los efluentes mineros de Ananea y el ECA 79
Figura 7	Parámetros físicos químicos del efluente comparados con el ECA 80
Figura 8	Elementos inorgánicos del afluente y efluente 81



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1 Matriz de Consistencia	76
ANEXO 2 Normalidad de datos	77
ANEXO 3 Figuras complementarias	78
ANEXO 4 Diagrama del proceso del sistema de biorremediación	82
ANEXO 5 Documentos presentados	83
ANEXO 6 Resultados de Laboratorio OLAB de las muestras.....	86
ANEXO 7 Plano de los humedales del proyecto piloto 06-P-01	98
ANEXO 8 Imágenes del Informe de adaptabilidad y estabilidad Expediente técnico del proyecto piloto 06-P-01	99
ANEXO 9 Panel Fotográfico.....	102
ANEXO 10 Acta de Autenticidad	107
ANEXO 11 Acta de deposición y publicación a PILAR.....	108



ACRÓNIMOS

Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DDD	Diclorodifenildicloroetano
DDE	Diclorodifenildicloroetileno
DQO	Demanda química de oxígeno
ECA	Estándar de calidad ambiental
EDTA	Ácido etilendiamino-tetra-acético
EMA	Microorganismos eficientes
LPM	Límites máximos permisibles
MINAM	Ministerio Nacional del Ambiente
pH	Potencial de hidrógeno
SRP	Sistema de humedales referente a Maine
TDS	Sólidos totales disueltos
SST	Sólidos suspendidos totales
TRH	Tiempo de retención hidráulica
HC1	Nombre del humedal 1 referente a Maine
HC2	Nombre del humedal 2 referente a Maine
R1	Reservorio 1
S-1	Sedimentador 1
S-2	Sedimentador 2
H-1	Humedal 1
H-2	Humedal 2



S-H

Salida del humedal



RESUMEN

La minería informal es una actividad que; por lo general, ocasiona un impacto ambiental negativo produciendo diversos tipos de residuos destacando dentro de estos los efluentes mineros, los cuales normalmente suelen ser liberados al medio ambiente sin recibir ningún tipo de tratamiento previo. La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar la eficiencia de remoción de los metales pesados mediante un sistema piloto de humedales artificiales ya construido empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea. La investigación fue de tipo observacional-analítico de diseño no experimental; se tomaron 16 muestras de monitoreo en 4 fechas distintas y en 4 puntos del sistema piloto de humedales, los cuales son: captación, sedimentador, humedal y salida de humedal. Se utilizó la técnica de la observación y como instrumento ensayos en laboratorio. Los resultados obtenidos con respecto a la calidad del agua en sus parámetros físicos químicos (Temperatura, PH, Oxígeno Disuelto, SST) y los análisis realizados en un laboratorio muestra que los metales inorgánicos seleccionados (Cu, Co, Cr) se encuentran por debajo de los límites permitidos por el ECA (3ra categoría), la eficiencia de remoción de cobre obtenida fue de 96.18%, de cobalto fue de 99.06% y de cromo fue de 99.67%. Se concluye que, el sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de los metales pesados de los efluentes mineros del distrito de Ananea.

Palabras clave: Eficiencia, humedal artificial, minería, metales pesados, remoción.



ABSTRACT

Informal mining is an activity that, in general, causes a negative environmental impact by producing various types of waste, especially mining effluents, which are usually released into the environment without receiving any type of prior treatment. The main objective of this research is to evaluate the removal efficiency of heavy metals by means of a pilot system of artificial wetlands already constructed using *Schoenoplectus californicus* (cattail) from the mining effluents of the district of Ananea. The research was of explanatory level and experimental design; 16 monitoring samples were taken on 4 different dates and at 4 points of the pilot wetland system, which are: catchment, settler, wetland and wetland outlet. The observation technique and laboratory tests were used as instruments. The results obtained with respect to water quality in its physical and chemical parameters (temperature, pH, dissolved oxygen, TSS) and laboratory analysis show that the selected inorganic metals (Cu, Co, Cr) are below the limits allowed by the ECA (3rd category), the copper removal efficiency obtained was 96.18%, cobalt was 99.06% and chromium was 99.67%. It is concluded that the artificial wetland system using *Schoenoplectus californicus* (cattail) is efficient for the removal of heavy metals from mining effluents in the Ananea district.

Keywords: Artificial wetland, efficiency, mining, heavy metals, removal



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia peruana; durante el apogeo y decadencia del desarrollo económico de nuestro país, el sector minero presento a paso corto pero seguro una simple pero arraigada problemática, definida y estudiada por (Manrique & Sanborn, 2021), quienes destacaron el impacto ambiental como un estudio efímero, opacada por una denominada maldición local de recursos en el ámbito microeconómico y político, los cuales no dejaron progresar una buena gestión de prevención de contaminantes dados por la minería en auge del Perú. En respuesta a estos desafíos, el desarrollo de métodos de tratamiento para aguas residuales mineras que sean tanto eficaces como sostenibles se ha vuelto imperativo, entre las soluciones emergentes, los humedales artificiales han ganado terreno como una opción prometedora para la remoción de metales pesados (Gargallo, 2017). Los humedales artificiales son ecosistemas acuáticos diseñados por el ser humano que reproducen las funciones de humedales naturales, utilizando una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos para la depuración del agua (Peralta, 2019). El sustrato y las plantas acuáticas (macrófitas), junto con el microbiota asociado, contribuyen a la remoción de metales pesados a través de mecanismos como la adsorción, precipitación, filtración, absorción y biodegradación. Estos procesos trabajan en conjunto para atrapar, transformar y estabilizar los contaminantes, resultando en eficiencias de remoción que, en algunos casos, superan el 90% (Alquisira et al., 2021).

El Capítulo I se centra en la formulación de ideas mediante la metodología de formulación de problemática, con el objetivo de determinar la eficiencia de la remoción de metales en efluentes mineros mediante la innovación de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (totora). En el Capítulo II, se defiende el estudio basándose en antecedentes que establecen los parámetros de investigación, junto con bases teóricas



como fuente principal de información. El Capítulo III describe la metodología de trabajo, que incluye la propuesta, diseño, elaboración y evaluación de cuatro modelos de humedales artificiales con diferentes propósitos, alineados con los parámetros de la reforma minera para reducir el impacto ambiental de la ECAM. En el Capítulo IV se presentan los resultados de la investigación, basados en muestras recolectadas de humedales artificiales que utilizan *Schoenoplectus californicus* (totora) para tratar los efluentes mineros en el distrito de Ananea, seguidos de conclusiones y recomendaciones.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria minera es un pilar fundamental para el desarrollo económico del Perú (Pachas, 2014). Sin embargo, el Ministerio del Ambiente indica que esta actividad genera impactos ambientales significativos debido a la liberación de contaminantes; destacando dentro de ellos, a los metales pesados los cuales son altamente tóxicos y perjudiciales para la salud y los ecosistemas circundantes (López, 2000). Evaluaciones del INEI (2020), indican que un 72% de las muestras de agua tomadas en comunidades aledañas a minas en Puno no son aptas para el consumo debido a que estas superan los Estándares de Calidad del Agua para Consumo Humano (ECAS). De la misma manera, investigaciones de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno (2022), indican que se encontraron niveles de arsénico hasta 10 veces por encima del ECAS en peces del Lago Titicaca. Es ahí, que los humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (totora), una planta acuática nativa con propiedades de biorremediación, se presentan como una alternativa prometedora para la reducción de metales pesados de los afluentes mineros (Puma et al., 2022).

Estudios indican que los humedales artificiales se han convertido en una innovación destacada para el tratamiento de aguas residuales provenientes de actividades mineras. Estos sistemas, diseñados para imitar las funciones de humedales naturales,

proporcionan una alternativa eficaz y sostenible a los métodos convencionales de tratamiento (Rivas & Paredes, 2014; Serrano, 2022). Oggero et al. (2021) encontraron diferencia significativa en la remoción de cobre y cromo en las concentraciones de soluciones metálicas, demostrando que la fitorremediación tiene la capacidad de absorber metales pesados (Samudio Oggero et al., 2021).

La minería informal genera daños considerables en el medio ambiente, especialmente en la calidad del agua para consumo humano; por tal motivo, se consideró la elaboración del Proyecto Piloto 06-P-01 del Proyecto General GIRH como método de tratamiento del agua de los ríos contaminados por los efluentes mineros. El estudio permitió evaluar si los parámetros del agua de los afluentes mineros del Distrito de Ananea son aptos para el consumo humano según el ECA - III categoría.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

- ¿Cuál es la eficiencia de la remoción de metales (Cu, Co y Cr) mediante el sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) de los efluentes mineros en Ananea?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la eficiencia de la remoción de Cobre (Cu) en el sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) en los efluentes mineros del distrito de Ananea?
- ¿Cuál es la eficiencia de la remoción de Cobalto (Co) en el sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) en los efluentes mineros del distrito de Ananea?



- ¿Cuál es la eficiencia de la remoción de Cromo (Cr) en el sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) en los efluentes mineros del distrito de Ananea?
- ¿Cuál es la calidad del agua en los parámetros físicos y químicos comparados con los niveles máximo permisibles por el ECA, en el efluente del sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora)?

1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis General

- El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de los metales (Cu, Co y Cr) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.

1.3.2. Hipótesis Específicas

- El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de Cobre (Cu) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.
- El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de Cobalto (Co) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.
- El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de Cromo (Cr) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.
- La calidad del agua de los parámetros físicos y químicos del efluente del sistema de humedales artificiales utilizando *Schoenoplectus*



californicus (totora) cumple con los niveles máximo-permisibles del ECA.

1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar la eficiencia de remoción de los metales (Cu, Co y Cr) mediante un sistema piloto de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Evaluar la eficiencia de remoción de Cobre (Cu) en un sistema piloto de humedales artificiales utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.
- Evaluar la eficiencia remoción de Cobalto (Co) en un sistema piloto de humedales artificiales utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.
- Evaluar la eficiencia de remoción de Cromo (Cr) en un sistema piloto de humedales artificiales utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.
- Describir la calidad del agua en los parámetros físicos y químicos del efluente del sistema de humedales artificiales utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora) en comparación con el ECA.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según el artículo investigativo de Maine et al. (2017), manifestaron que en su investigación tuvo como objetivo evaluar la efectividad de dos humedales diseñados (HC1 y HC2) en el tratamiento de aguas residuales de la industria metalúrgica y determinar si los contaminantes son retenidos por sedimentos o vegetación. análisis. Gestión de humedales. En ambos humedales, las aguas residuales se tratan junto con las aguas residuales industriales que contienen metales. Los humedales integrados tienen diferentes características de diseño debido a los diferentes volúmenes tratados y la composición química de las aguas residuales. HC1 ha estado en funcionamiento durante 12 años y HC2 durante 5 años. Ambos humedales fueron eficientes y mostraron efectos de tratamiento satisfactorios en SRP, fósforo total, especies de nitrógeno, DQO, DBO, sulfatos y metales. *Typha domingensis* (totora), la especie dominante en ambos casos muestra una fuerte retención de metales, especialmente en su biosfera, lo que indica una capacidad para estabilizar las plantas. Las concentraciones de metales y en los sedimentos aumentan en la zona de entrada a fracciones químicamente estables que no se liberan al agua si se mantienen las condiciones ambientales. Los restos de tortugas estrella se amontonan. Habiendo tenido una remoción de Cromo (Cr) de 92.9%.

Ortigoza y Corredor (2021), evaluaron la eficiencia de los humedales artificiales con el uso de macrófitas para la descontaminación de agua residual contaminada con material orgánico y metales pesados. La selección del modelo



de humedal y la especie vegetal se basaron en una exhaustiva revisión bibliográfica de 50 documentos provenientes de revistas científicas, bases de datos y repositorios universitarios. En donde ciertos criterios sobre la composición química para las plantas macrófitas, y Sólidos Suspendidos Totales (SSTppm), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5mg/L), Demanda Química de Oxígeno (DQOmg/L) y Coliformes Fecales para los humedales. En donde se llegó a evidenciar que las especies Pistia L. stratiotes y Eichhornia crassipes con elevados porcentajes de remoción de diversos contaminantes, incluyendo metales pesados en conjunto al método de humedal horizontal de flujo subsuperficial de área, diseño y complementos saludables dieron pie derecho al trabajo argumentado.

Singh & Chakraborty (2020) tuvieron como objetivo evaluar el humedal artificial de flujo subterráneo horizonte para la remoción del drenaje Ácido Sintético de Mina (AMD) utilizando un sustrato rico en materia con espadaña común. Esta AMD contenía metales pesados como (Fe, Mn, Ai, Co, Ni y Cr) y sulfato (900-1500 mg/L). Su experimento duró 6 meses y como resultado obtuvieron una eficiencia de eliminación de metales con: Cromo (99.7%), Niquel (97.8%), Cobalto (93.7%), Hierro (91.6%) y Aluminio (59.7%). Concluyen además que, el sistema de vegetación demostró ser exitoso en la eliminación simultanea de metales, excepto el manganeso. Asimismo, que el sistema requirió el reemplazo constante del lecho agotado, El hierro, el aluminio, el cobalto y el cromo se acumularon principalmente en la capa superior del suelo y cerca de las raíces de las plantas mediante adsorción y rizofiltración. Se observó una mayor acumulación de metales pesados en los tejidos vegetales subterráneos, pero no en el caso del manganeso.



2.1.2. Antecedentes nacionales

Alvarez y Espinoza (2022), tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia de un humedal artificial de flujo superficial para el tratamiento del drenaje ácido de mina (DAM) proveniente de la bocamina Poderosa. La metodología aplicada fue explicativa, usando el método científico. Se realizó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, tomando muestras tanto del afluente como del efluente del humedal artificial. Para la recolección de datos, se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica y un dispositivo multiparámetro. Los resultados mostraron que las tasas de remoción alcanzadas fueron 57.12% para cobre (Cu), 53.93% para plomo (Pb), 57.73% para zinc (Zn), y hubo una mejora del 8.40% en el pH. Al comparar estos datos con el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, se observó que el sistema no cumplió con algunos de los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades mineras, ya que los valores promedio del efluente fueron 120.36 mg/l para Cu, 0.22 mg/L para Pb, 1057.58 mg/L para Zn y un pH de 4.01

Sucari (2022), manifiesta que su trabajo de investigación fue llevado a cabo con el propósito de analizar la eficacia en la eliminación de metales pesados presentes en efluentes mineros mediante la implementación de humedales artificiales con *Scirpus californicus* y *Festuca dolichophylla* en el distrito de Morococha. Involucró la instalación de dos humedales haciendo uso de arena fina, gruesa, grava y caliza, inoculando las especies *Scirpus californicus* y *Festuca dolichophylla* en cada una. Se tomaron muestras de efluentes de la Empresa Minera Austria Duvaz S.A. - Poza de bombeo N° 2-Nivel 1700 interior mina, evaluando parámetros físicoquímicos como temperatura y pH, para el análisis de parámetros inorgánicos, durante 5 meses. Se evaluó también el crecimiento y



adaptabilidad de ambas especies. Los resultados revelaron que el agua proveniente del interior de la mina presentaba valores que excedían el Límite Máximo Permisible, mientras que los efluentes tratados provenientes de ambos humedales mostraron concentraciones significativamente reducidas de metales ubicándose por debajo de los límites máximos permitidos.

Hernandez y Vargas (2021) evaluaron el nivel de depuración de aguas residuales del campamento agrícola AgroVictoria mediante humedales artificiales subsuperficiales verticales que utilizan dos especies de plantas: *Schoenoplectus californicus* (totora) y *Phragmites australis* (Carrizo). Para lograr esto, se realizó el dimensionamiento de los humedales basado en la carga orgánica recomendada. Cada sistema estaba compuesto por dos recipientes con una superficie de 930 cm² y un Tiempo de Retención Hidráulica (TRH) de 16.07 horas. Los parámetros analizados incluyeron la eficiencia de remoción de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5mg/L), Sólidos Suspendidos Totales (SSTppm), Coliformes Termotolerantes, pH y temperatura °C, cuyos resultados se procesaron mediante el software Microsoft Excel para su posterior análisis y representación gráfica. En términos de resultados, el humedal con *Schoenoplectus californicus* (totora) logró una eficiencia de remoción del 87.38% para DBO, 81.53% para SST, 91.91% para Coliformes Termotolerantes, 22.28% para temperatura, y 6.63% para pH. Por su parte, el humedal con *Phragmites australis* alcanzó eficiencias del 78.23% para DBO, 77.57% para SST, 89.52% para Coliformes Termotolerantes, 21.56% para temperatura, y 4.82% para pH. En base a estos resultados, se identificó que la especie más eficaz para la depuración de aguas residuales en humedales artificiales subsuperficiales verticales fue *Schoenoplectus californicus* (totora), mostrando mayor eficiencia en la mayoría de los parámetros analizados



Flores (2023), tuvo como objetivo evaluar el uso de humedales aeróbicos con plantas como la Totora y el Carrizo para eliminar metales pesados de aguas contaminadas, con el fin de explorar su posible aplicación en la remediación de pasivos ambientales mineros. Para esto, se construyeron celdas a escala de laboratorio, cada una con piedra chancada como sustrato y soluciones que contenían metales como cobre (Cu), zinc (Zn), plomo (Pb), y hierro (Fe). El ciclo de remediación fue de 9 días, y durante este período se monitorearon parámetros físico-químicos como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y turbidez, así como aniones y concentraciones de metales. Los resultados finales mostraron que la mayoría de los parámetros físico-químicos, así como las concentraciones de metales, cumplieron con los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), excepto el amoníaco, que excedió los límites, y el plomo, que solo cumplió con los LMP. En términos de eficiencia de remoción, el Carrizo alcanzó el 87% para Cu y el 94% para Zn, mientras que la Totora logró el 90% para Cu, el 92% para Pb, y el 69% para Fe. En cuanto a la eficiencia de acumulación, el Carrizo fue mejor para Cu y Zn, mientras que la Totora destacó en Cu y Pb. Además, la Vía Húmeda demostró ser más efectiva que la Vía Seca para la recuperación de metales como Cu y Fe. Estos resultados sugieren que los humedales aeróbicos con estas plantas podrían ser útiles en la remediación de aguas contaminadas por metales pesados.

Para Gutierrez y Zapata (2023), cuyo trabajo se basó en el estudio descriptivo se propuso analizar la capacidad de fitorremediación de cinco macrófitos, evaluando su potencial en la captura y procesamiento de metales pesados en aguas residuales. El cual proceso se incluyó la revisión documental de 20 investigaciones obtenidas de repositorios virtuales como Biblioteca UPN,



Google Académico, Research Gate, Redalyc, Scielo y el repositorio nacional Alicia Concytec. La información recopilada fue analizada para identificar afinidades metálicas específicas y capacidad de fitodepuración. Los resultados concluyeron que las especies *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, *Typha latifolia*, *Phragmites australis* y *Scirpus californicus*, también conocida como *Schoenoplectus californicus* (totora), poseen un potencial significativo de fitorremediación para metales comunes dentro de efluentes mineros.

Ccarhuarupay et al. (2023), determinaron el impacto de la aplicación de Microorganismos Eficaces (EMA) y la Fitorremediación en Sistemas Mixtos de Humedales Artificiales con contenido de plantas acuáticas de especie *E. crassipes* + *L. minuta* y *E. crassipes* + *L. gibba* sobre la calidad de agua residual de una curtiembre, centrándose en parámetros como inoculación de Cr Total, Cr VI, DBO5, pH, T°, STD y C.E. En donde se recolectaron 144 litros de agua residual de la curtiembre "Pacheco" y se sometieron a tratamientos con EMA al 20% y dos sistemas mixtos de fitorremediación durante períodos de 32 y 68 días. Los resultados indican que el tratamiento con EMA al 20% tuvo efectos más notables a los 11 días. La fitorremediación con *E. crassipes* + *L. gibba* demostró ser más efectiva que *E. crassipes* + *L. minuta* a los 10 días en términos de Cr total y Cr VI. La segunda aplicación de EMA al 20% contribuyó a la reducción de Cr total y Cr VI. Entonces, la biorremediación con EMA al 20% resultó ser el tratamiento más eficiente, logrando reducciones significativas para Cr Total (92.38%), Cr VI (92.55%), y DBO5 (19%) a los 32 días en comparación con los valores iniciales.

Flores (2023) evaluó el uso de Wetlands aeróbicos, con el uso de Totora y el Carrizo para la remoción de metales en aguas contaminadas, que en base a celdas a una escala de laboratorio que contenían Cu, Zn, Pb y Fe, donde realizó



un monitoreo en un lapso de 9 días. La autora indica obtener mayor remoción con Carrizo en Cu de 87%, Zn en 94% y la Totora mejor remoción en Cu de 90%, Pb de 92% y Fe de 69%. Asimismo, obtiene que con el uso de Totora tuvo una reducción de pH a partir del día 6 en adelante, donde logra estabilizarlo. Explicando que existe un proceso de oxidación de los metales y otras reacciones químicas dentro de los humedales como la acidez. Asimismo, que el oxígeno disuelto (ODmg/L), en la Totora es más eficiente debido a que sus valores se encuentran dentro de los parámetros del ECA de ≥ 5 mg/L en todos los días de su tratamiento.

2.1.3. Antecedentes locales

Quispe y Peralta (2021), manifiesta que en su investigación determinan efectos de los tratamientos con plantas en *Schoenoplectus californicus* (totora) y pequeñas lentejas de agua que habitan en la desembocadura de la laguna Lagunillas en el río Santa Lucía, Juliaca. Medición de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la desembocadura de la Laguna Lagunillas. La construcción de *Schoenoplectus californicus* (totora) y pequeños humedales artificiales de lenteja de agua tiende a cruzar cuerpos de agua y las condiciones son inadecuadas para mejorarlos. Las propiedades originales del agua indicaban que el pH estaba dentro del rango establecido por la ECA, pero los refrigerantes térmicos que contenían mercurio, arsénico, plomo y coliformes excedieron los estándares, con rendimientos de 93,28% para arsénico y 99,57% para mercurio. 94,73% para plomo y 78,71% para coliformes termotolerantes. Las eficiencias alcanzadas en la planta de tratamiento de aguas residuales a pequeña escala de Lemna fueron de 91,69% para arsénico y 99,57% para mercurio. 94,73% plomo



y 99,72% coliformes termotolerantes. De los resultados obtenidos se concluyó que la lenteja de agua es más efectiva que *Schoenoplectus californicus* (totora).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Minería en el Perú

Dentro del contexto peruano ha desempeñado un papel significativo en la economía nacional, contribuyendo significativamente al desarrollo y crecimiento del país. Sin embargo, esta expansión no ha estado exenta de desafíos ambientales. La explotación de minerales a menudo conlleva la generación de efluentes mineros, que constituyen una preocupación creciente debido a sus potenciales impactos negativos en los cuerpos de agua y los ecosistemas circundantes. La gestión adecuada de estos efluentes se ha vuelto esencial para garantizar la sostenibilidad ambiental y el equilibrio entre el desarrollo económico y la preservación del entorno natural. En este contexto, el análisis de los efluentes mineros emerge como un componente crítico en la comprensión integral de los efectos de la actividad minera en el Perú y la búsqueda de soluciones efectivas para mitigar su impacto ambiental (Manrique & Sanborn, 2021).

2.2.2. Efluentes Mineros

Derivada del agua residual que se genera en las actividades mineras. Se trata de un tipo de agua contaminada que puede contener una variedad de contaminantes, tanto de metales pesados como tóxicos (Mena Eyzaguirre, 2020)

Con tales contenidos de metales pesados, como el mercurio, el cadmio, el plomo y el zinc, al igual que sustancias químicas tóxicas, como los cianuros, los ácidos y los solventes. Los cuales pueden tener un impacto negativo en el medio



ambiente, contaminando el agua, el suelo y el aire. También pueden ser dañinos para la salud humana y la vida silvestre (Fernández y Flores, 2019).

Tratamiento y sistema de efluentes mineros es un proceso complejo que requiere un conocimiento profundo de la química de los contaminantes presentes en el efluente. Es importante desarrollar métodos de tratamiento efectivos que protejan el medio ambiente y la salud humana. Los tipos de contaminantes que se encuentran en los efluentes mineros varían en función del tipo de mineral que se extrae, el método de extracción utilizado y la ubicación de la mina (Manrique y Sanborn, 2021).

2.2.3. Lagunas Artificiales

Las lagunas artificiales son cuerpos de agua creados artificialmente por el hombre, Silva (2004). En el contexto de la minería, las lagunas artificiales se utilizan para almacenar efluentes mineros, que son los residuos líquidos que se generan durante la actividad minera en donde la evaluación del rendimiento de lagunas artificiales en el tratamiento de efluentes mineros sea de manera prioritaria (Gutierrez y Zapata, 2023).

2.2.4. Remoción de metales pesados

La remoción de metales pesados en la minería emerge como una práctica esencial para preservar tanto el medio ambiente como la salud humana, dado que metales como el mercurio, el plomo y el cadmio exhiben propiedades tóxicas con el potencial de generar un impacto ambiental significativo. Estos elementos, al ser liberados en el entorno, pueden provocar daños sustanciales en los ecosistemas acuáticos y terrestres, comprometiendo la biodiversidad y afectando negativamente la calidad del agua y del suelo. Por lo cual el sistema de reducción



de impacto ha ido evolucionando de la mano con la bioquímica siendo imprescindible con respecto a la efluencia minera, y supuestos químicos y metales diferidos de esta (Gutiérrez & Zapata, 2023).

2.2.5. Humedales Artificiales

Los humedales artificiales representan sistemas de fitodepuración de aguas residuales, configurados con un lecho de grava impermeabilizado donde se desarrolla un cultivo de macrófitas enraizadas. La acción de estas plantas facilita complejas interacciones físicas, químicas y biológicas, logrando una depuración gradual del agua residual (O. Delgadillo et al., 2010).

Existen dos categorías principales de humedales artificiales utilizados en el tratamiento de efluentes mineros: aquellos de flujo subsuperficial, donde el agua atraviesa un medio poroso, y los de flujo superficial, donde el agua se desplaza sobre una superficie plana. En ambos casos, ya sea mediante la acción de microorganismos en el medio poroso o en la superficie, se realiza la degradación de los contaminantes, resaltando la eficiencia de estos sistemas con bajos impactos ambientales (Calle y Coello, 2015).

En resumen, los humedales artificiales destinados al tratamiento de efluentes mineros se presentan como una tecnología prometedora en la industria minera, destacándose por su eficiencia, efectividad y respeto al medio ambiente en la remoción de metales pesados (Ortigoza & Corredor, 2021).

2.2.6. Metales pesados en lagunas artificiales

Representan un grave problema ambiental, especialmente cuando están presentes en las fuentes de agua a nivel mundial, dado su conocido efecto tóxico. Este fenómeno impacta negativamente a diversas comunidades que dependen de



ríos como fuente de agua potable. La contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados se atribuye principalmente a diversas actividades antropogénicas, intensificando los efectos perjudiciales en la biosfera, esencial para el sustento de la vida (Salome, 2022).

2.2.7. Mercurio y cromo en lagunas artificiales

Para el artículo investigativo de Sarria et al. (2020), consideramos las siguientes definiciones según su aspecto sobre su influencia en la minería, tanto en uso, problemática y consecuencias.

El cromo, elemento químico de número atómico 24 y símbolo Cr, se presenta como un metal de transición de color gris plateado, esencial para la vida al formar parte de proteínas y ácidos nucleicos. No obstante, en forma de compuestos, puede ser tóxico, encontrándose en minerales como la cromita. Su uso en la minería para la producción de acero inoxidable y otros materiales puede generar contaminación, liberando compuestos de cromo hexavalente, altamente perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. El mercurio, con número atómico 80 y símbolo Hg, es un metal líquido vital en procesos biológicos, pero sus compuestos pueden resultar tóxicos. Presente en minerales como el cinabrio, se utiliza para amalgamas en la minería. La liberación de mercurio elemental durante la extracción y procesamiento de minerales es la principal fuente de contaminación, teniendo efectos adversos como daño al sistema nervioso y riesgos para la salud reproductiva, así como impactos ambientales al contaminar agua, suelo y aire (Sarria et al., 2020).

2.2.8. Fitorremediación en la Minería



La fitorremediación emerge como una técnica ambiental de remediación que emplea plantas para la eliminación de contaminantes presentes en el agua, suelo o aire. Su aplicabilidad se extiende a diversos contaminantes, abarcando desde metales pesados hasta hidrocarburos, pesticidas y compuestos orgánicos volátiles. En el ámbito minero, la fitorremediación se erige como una opción viable para tratar los efluentes mineros, es decir, las aguas residuales generadas como subproducto de las operaciones mineras, las cuales pueden albergar una diversidad de contaminantes, tales como metales pesados, sustancias químicas nocivas y sedimentos, tales concepto y centralización definida en el artículo investigativo de Alquisira et al. (2021).

Siendo una alternativa de tratamiento de aguas residuales que es económicamente viables y de fácil mantenimiento. Destaca por su operación sin necesidad de energía, constituyendo una opción ecológica y sostenible, en línea con prácticas amigables con el medio ambiente, eficiente para reducir la carga contaminante de las aguas residuales y cumplir con los estándares normativos ambientales. Teniendo en cuenta que, la teórica radica en los nuevos aportes que esta investigación brindará, sirviendo como base para futuras investigaciones sobre fitorremediación con las diversas especies a tratar, trayendo innovaciones y tendencias de bajo impacto ambiental (Huamani, 2022).

La fitorremediación capitaliza la capacidad de determinadas plantas ejercer procesos de limpieza y neutralización de metales pesados, radioactivos y elementos orgánicos. Estas tecnologías vegetales presentan numerosas ventajas en comparación con los métodos fisicoquímicos convencionales, destacando su amplia aplicabilidad y costos reducidos. Las cuales proporcionan una visión general de las diversas técnicas fitocorrectivas utilizadas para la restauración de



suelos y efluentes contaminados, además de explorar el potencial asociado al empleo de plantas transgénicas (A. Delgadillo et al., 2011)

2.2.8.1. Macrófitas

Los procedimientos de tratamiento de aguas residuales que incorporan macrófitas flotantes han evidenciado su eficiencia en la eliminación, control y depuración de aguas contaminadas. La importancia de estas plantas radica en su capacidad para ser implementadas en áreas rurales, destacándose por su bajo consumo de energía convencional y la practicidad en la instalación y operación de los sistemas de tratamiento (Martelo y Borrero, 2012). Las plantas acuáticas de gran tamaño, conocidas como macrófitas acuáticas, son importantes en los ecosistemas lacustres, contribuyendo a la productividad primaria, proporcionando hábitats para diversos niveles tróficos, facilitando el reciclaje de nutrientes y estabilizando los sedimentos. La investigación sobre las macrófitas acuáticas en lagunas neotropicales de alta montaña es limitada, pero es esencial para mejorar la comprensión de estos ecosistemas en comparación con investigaciones similares en otros países andinos. Una macrofita es una planta visible a simple vista que vive en un medio acuático o muy húmedo. Las macrófitas se pueden clasificar en dos grupos principales (Montaño et al., 2013)

Macrófitas acuáticas: Estas plantas viven completamente sumergidas en el agua, como las algas, los nenúfares y los juncos.
Macrófitas palustres: Estas plantas viven parcialmente sumergidas en el agua o en zonas muy húmedas, como los carrizos, los juncos y los helechos (Martelo & Borrero, 2012). Las macrófitas también se utilizan en una



variedad de aplicaciones humanas, como la acuicultura, el tratamiento de aguas residuales (estas absorben los contaminantes del agua a través de sus raíces y hojas) y en la biorremediación donde se utilizan para limpiar aguas contaminadas, como las aguas residuales de las minas o las aguas residuales de los derrames de petróleo (Ortigoza & Corredor, 2021).

2.2.8.2. Macrofito *Schoenoplectus Californicus* (totora)

El macrófito *Schoenoplectus californicus*, también conocida como totora representa una planta herbácea perenne acuática perteneciente a la familia de las Ciperáceas, originaria de América del Sur, desde California hasta Chile. Esta planta prospera en humedales como esteros, pantanos y lagunas, pudiendo alcanzar alturas de hasta 3 metros, caracterizándose por un tallo robusto y erecto. Sus hojas estrechas y alargadas se disponen en forma de roseta alrededor del tallo. La *Schoenoplectus californicus* (totora) exhibe una versatilidad notable, siendo utilizada por las comunidades indígenas de América del Sur a lo largo de los siglos para la construcción de embarcaciones, viviendas, artesanías y diversos objetos. Asimismo, se emplea como alimento para el ganado y como fuente de fibra (Hidalgo, 2019).

Figura 1

Foto referencial de la Totora (*Schoenoplectus Californicus*)



Nota: Elaboración propia.

En la actualidad, la *Schoenoplectus californicus* (totora) está siendo objeto de investigación como una posible alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Estudios han corroborado su eficiencia en la eliminación de contaminantes como la materia orgánica, nutrientes y metales pesados. Un reciente estudio llevado a cabo en Perú evaluó la eficiencia de la *Schoenoplectus californicus* (totora) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, revelando que esta planta puede eliminar hasta un 90% de la materia orgánica y un 70% de los nutrientes. Estos hallazgos son alentadores, dado que la *Schoenoplectus californicus* (totora) se presenta como una planta eficiente, de bajo costo y fácil cultivo. Además, destaca por su sostenibilidad, ya que puede ser cosechada sin causar daños significativos al medio ambiente (Palacios et al., 2020).

2.2.8.3. Remoción de mercurio

El mercurio, metal pesado altamente perjudicial para la salud humana y el medio ambiente, representa un desafío significativo. El *Schoenoplectus californicus* (totora), demuestra la capacidad de absorber

el mercurio a través de sus raíces, permitiendo su acumulación en los tejidos vegetales, donde puede ser objeto de degradación o almacenamiento. La efectividad de la fitorremediación del mercurio con *Schoenoplectus californicus* (totora) está sujeta a diversos factores, incluyendo la concentración inicial de mercurio en el agua, la tasa de crecimiento de la planta y las condiciones ambientales circundantes. Estos elementos interactúan de manera integral, influyendo en la eficiencia global del proceso de remoción del mercurio (Mena y Eyzaguirre, 2020).

2.2.8.4. Remoción de Cromo

La presencia del cromo, un metal pesado perjudicial para la salud humana y el entorno puede ser mitigada mediante la fitorremediación utilizando el junco de California. Este vegetal tiene la capacidad de absorber el cromo a través de sus raíces, acumulándolo en sus tejidos para su posterior degradación o almacenamiento. La eficiencia de este proceso, utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora), está condicionada por diversos factores, incluyendo la concentración de cromo en el agua, la velocidad de crecimiento de la planta y las condiciones ambientales (Márquez et al., 2020; Poma, 2015)

2.2.8.5. Fitorremediación con *Schoenoplectus Californicus* (totora)

Estos estudios han evidenciado la capacidad de la planta para absorber cantidades significativas de estos contaminantes presentes en el agua. El macrófito *Schoenoplectus californicus* (totora) se presenta como una opción viable para la biorremediación en un sistema de lagunas artificiales, donde las plantas son cultivadas en efluentes mineros contaminados con mercurio y cromo. A través de sus raíces, las plantas



absorben eficientemente los contaminantes del agua, que luego se acumulan en sus tejidos, donde pueden ser degradados o retenidos. El diseño del sistema de lagunas artificiales se orienta a proporcionar condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas, considerando factores como la temperatura, la luz, el pH y la concentración de nutrientes. Además, se planifica la facilidad de remoción de las plantas una vez que hayan sido contaminadas con los mencionados contaminantes (Amábilis et al., 2015; Mayta, 2021).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

Efluente minero: Se refiere al conjunto de aguas residuales producidas como resultado de las operaciones mineras, abarcando la extracción, el tratamiento y la clausura de las minas. Estos efluentes pueden incluir una diversidad de contaminantes, tales como metales pesados, ácidos, sales, materia orgánica y otros compuestos tóxicos (Fernández y Flores, 2019)

Schoenoplectus Californicus (totora): Denominada localmente como totora, una planta herbácea perenne acuática perteneciente a la familia de las ciperáceas, es originaria de América del Sur y se adapta a diversos hábitats. Destaca por su rápido crecimiento, alcanzando alturas de hasta 3 metros, con un tallo cilíndrico y hueco, y hojas largas y delgadas (Miranda, 2019).

Remoción: La remoción es el acto o resultado de retirar, apartar o expulsar algo. También implica la acción de desplazar o trasladar algo de un lugar a otro (Coral y Gomez, 2017).

Contaminantes: Denominadas como sustancias capaces de ocasionar perjuicio al entorno ambiental o a la salud humana (Villalobos y Valencia, 2015).



Ecológicamente Sustentable: Son aquellas actividades humanas que cumplen con las demandas actuales sin poner en riesgo la capacidad de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades (Domínguez et al., 2016).

Metales pesados: Son aquellas reestructuraciones químicas con una densidad considerable y cierta toxicidad para los seres humanos. Aunque se encuentran de manera natural en el entorno, también pueden ser liberados debido a las actividades humanas, representando resultados tanto negativos a entornos ambientales (Justo, 2019).

Sedimentos: Consisten en partículas sólidas que se acumulan en la superficie terrestre, ya sea en suelo, agua o aire, y pueden tener origen tanto natural como antropogénico. Estas partículas sedimentarias exhiben una diversidad de formas y tamaños, abarcando desde partículas microscópicas hasta rocas de gran tamaño, y pueden estar compuestas por un solo tipo de roca o mineral, o por una combinación de varios (Montaño et al., 2013).

CAPÍTULO III

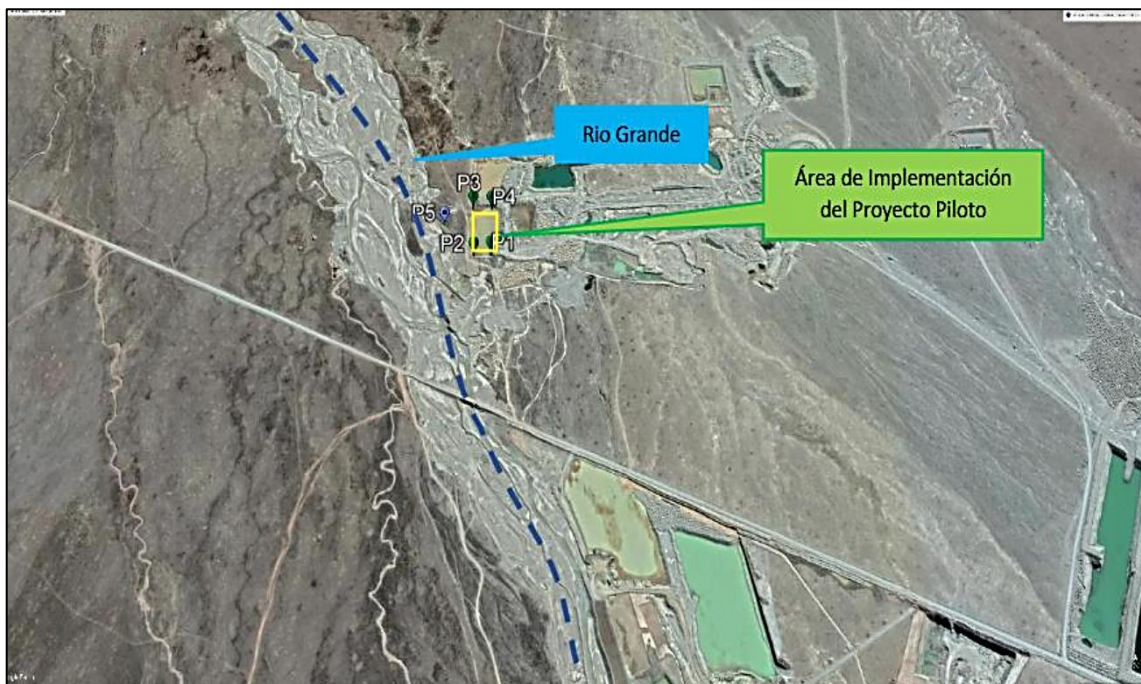
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DEL ESTUDIO

En la Región de Puno, el distrito de Ananea presenta una gran actividad en la minería ilegal y al no tener un reglamento o un proceso minero adecuado ocasiona un gran impacto ambiental; por ende, la cuenca del río Ramis presenta mayor contaminación de agua. Es así que se planteó este proyecto, el cual está situado a 4.5 km abajo de la estación de monitoreo RGran 1.3, Mina Jesús tres del río Grande, en el distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina, en Puno. Por lo cual el presente estudio toma 4 puntos de monitoreo del sistema piloto ya implementado para evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados en agua.

Figura 2

Ubicación del Proyecto Piloto 06-P-01



Nota: Recuperado del Plan de Trabajo del Proyecto Piloto 06-P-01 2023.

Tabla 1*Coordenadas de los sedimentadores y humedales del estudio*

Puntos	UTM-WGS84 (S-19L)		Altitud (m.s.n.m.)
	Este (m)	Norte (m)	
P1	431826	8382635	4475
P2	431794	8382634	4476
P3	431794	8382724	4475
P4	431824	8382722	4476

3.2. TIPO Y DISEÑO DEL ESTUDIO

La presente investigación se encuadra en los estudios observacionales analíticos de los diseños descriptivos, en este tipo de estudios el investigador no interviene directamente en el fenómeno a estudiar, sino que observa y analiza sistemáticamente las variables de interés en su contexto natural. Es decir, en el presente estudio hubo ausencia de manipulación, pero se aplica técnicas estadísticas para resolver hipótesis (Ñaupas et al., 2018). Por ende, este estudio se clasifica como observacional analítico debido a que se analizó la eficiencia de remoción de los metales de los humedales artificiales ya existente, sin intervenir en su construcción o funcionamiento y se recopilaban muestras y se aplicaron análisis estadísticos para evaluar su eficiencia. Presenta un enfoque cuantitativo, de corte longitudinal habiéndose recopilado los análisis físicos y químicos desde el 28 de Setiembre hasta el 09 de noviembre del 2023. En tanto que es de nivel explicativa, ya que interfiriendo en la variable manipulable (Sistema de humedales artificiales) podemos demostrar las consecuencias del fenómeno en la otra (Eficiencia de remoción de metales pesados) (Ríos, 2017).

3.3. POBLACIÓN, MUESTREO Y MUESTRA

3.3.1. Población

En el presente estudio la población es la laguna artificial de la unidad minera Gaby III ubicada. Tanto la población como el universo comparten las mismas características (Arias et al., 2022).

3.3.2. Muestreo

En la presente investigación se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a que se captó datos en 4 posas y de cada posa se obtuvo 4 muestras en 4 fechas distintas. El muestreo no probabilístico es una técnica de selección de muestras en la que la probabilidad de que cada individuo de la población sea elegido para formar parte de la muestra no se determina o no se conoce (Mamani & Viracocha, 2023).

3.3.3. Muestra

Se realizó la selección de 4 puntos de muestreo, el primero fue en el reservorio de la captación de agua perteneciente a la laguna artificial de la unidad minera GabyIII, el segundo la salida del sedimentador, el tercero en el humedal con la macrófita *Schoenoplectus californicus* (totora) y finalmente la cuarta en la cámara de aforo, (Véase Anexo 3: Diagrama del proceso del sistema de biorremediación).

Tabla 2

Cantidad de puntos de muestreo por fecha

N°	Fecha	Muestras
1	28/9/2022	4
2	1/10/2022	4
3	4/10/2022	4
4	9/10/2022	4
Total		16

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente

Sistema de humedales artificiales con el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora).

Variable dependiente

Eficiencia de remoción de los metales pesados

Inorgánicos (Metales pesados %)

- Cobre (Cu)
- Cobalto (Co)
- Cromo (Cr)

Físico-químicos

- pH
- Temperatura (°C)
- Oxígeno Disuelto (mg/L)
- SST (ppm)

3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS

“Consiste en calcular el porcentaje de remoción de contaminantes (Metales totales y disueltos) de acuerdo con los resultados que serán emitidos por el laboratorio a la entrada y salida del humedal, según la frecuencia de monitoreo mencionado.” (Sucari, 2022). Para analizar la eficiencia de los humedales construidos, se utilizará la siguiente fórmula:

$$E = \frac{Ci - Cf}{Ci} * 100 (\%)$$

Donde:

E: Eficiencia de Remoción de contaminantes (%)

Ci: Concentración inicial del contaminante

Cf: Concentración final del contaminante

Las concentraciones de contaminantes obtenidos en el agua de los humedales construidos en los días de monitoreo se compararon con los Estándar de calidad ambiental (ECA) de la categoría 3 para riego de vegetales y bebida de animales como se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 3

Categoría 3 de Riego de vegetales y bebida de animales del ECA para aguas

Parámetro	Unidad de Medida	D1: Riego de Vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (C)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICO-QUÍMICOS				
Potencial de hidrogeno (pH)	Unidad de pH		6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Temperatura	°C		Δ 3	Δ 3
Conductividad	(μS/cm)		2500	5000
INORGÁNICOS				
Cobre	mg/L		0,2	0,5
Cobalto	mg/L		0,05	1
Cromo Total	mg/L		0.1	1

Nota: D.S. N° 004 (MINAN, 2017).

(C:) Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido. Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada D.S.N° 004-2017 MINAM (2017).

3.6. MATERIALES Y EQUIPOS

Los materiales que se utilizaron para la construcción de los humedales en esencia fueron: cemento, piedra mediana, arena gruesa, materia orgánica, grava, geomembrana HDPE e=1.5mm, tuberías PVC, tuberías HDPE, alambre púas y madera. Además, se



contempla la dotación de equipamiento para el bombeo y automatización como: bomba sumergible de 0.85 HP, paneles solares, inversor, baterías, tablero para la automatización. Ver listado de insumos y materiales.

3.7. CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL ARTIFICIAL POR PARTE DE QIM CONSULTORES S.A.C.

El proyecto piloto 06-P-01 “Técnicas de Reducción de Carga de Sedimentos y Mercurio Generados por las Actividades de Minería en la Cabecera de la Cuenca del Río Ramis” construida por la empresa QIM Consultores S.A.C. empieza por la captación de agua desde río Grande, esta pasa al desarenador y posteriormente, el agua ingresa a la cámara y caseta de bombeo que mediante una bomba sumergida de 0.85HP que conecta a válvulas y tuberías; mientras que en la caseta de bombeo se tiene un inversor dos paneles solares, un tablero para la automatización de las bombas y 2 baterías que aseguran la alimentación continua de agua. Luego, el agua es bombeada desde la cámara de bombeo a un reservorio, es ahí donde se distribuye 0.21 l/s de flujo continuo a los 2 sedimentadores y 2 humedales, estos 2 sedimentadores cumplen la función de tratamiento primario que permiten oxidación, precipitación y sedimentación de metales sólidos en el fondo; pasando los sedimentadores ingresan a los humedales 1 y 2 que presentan vegetación de Totorá para finalmente pasar a la cámara de aforo o toma de muestras y estas aguas son vertidas nuevamente al río. Véase Anexo 7: Informe de adaptabilidad y estabilidad Expediente técnico del proyecto piloto 06-P-01.

Figura 3

Sistema de Biorremediación con Schoenoplectus californicus (totora)



Nota. Recuperado del Plan de Trabajo del Proyecto Piloto 06-P-01 2023.

3.7.1. Medición del caudal

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} \text{ (L/S)}$$

3.7.2. Carga Contaminante

Se determinan del producto entre caudal de tratamiento (variable establecida) y la concentración de un contaminante (Consultores, 2020).

$$\text{Carga de Cu} = Q \times \text{Concentración de Cu}$$

$$\text{Carga de Co} = Q \times \text{Concentración de Co}$$

$$\text{Carga de Cr} = Q \times \text{Concentración de Cr}$$

3.7.3. Área superficial del humedal aerobio

Las áreas para Fe y Mn se determinaron de la relación entre las Cargas contaminantes y Valores teóricos de eliminación de metales críticos por carga aplicada (Consultores, 2020).

$$\text{Área de Cu} = \frac{\text{Carga de Cu}}{\text{Eliminación de Cu por carga contaminante}}$$

$$\text{Área de Co} = \frac{\text{Carga de Co}}{\text{Eliminación de Cu por carga contaminante}}$$

$$\text{Área de Cr} = \frac{\text{Carga de Cr}}{\text{Eliminación de Cu por carga contaminante}}$$

3.7.4. Dimensiones del humedal

Los humedales tienen las dimensiones específicas, con una longitud de 4.5 m y un ancho de 14 m, con una relación ancho-largo de 1:3. Esto resultó en un área superficial efectiva de aproximadamente 77.5m² y un área total superficial de 126.1 m². La profundidad de los humedales aerobios fue de 70 cm, incluyendo el borde libre. Para el cálculo del volumen del humedal se realizó con la siguiente fórmula Largo x Ancho x Profundidad, entonces el volumen del humedal fue de 53 m³. Los sustratos recomendados para los humedales fueron grava y materia orgánica. Se decidió utilizar grava 3/8" (8 m³), materia orgánica (6 m³), además de un espejo de agua de 0.15 m y un borde libre de 0.3 m.

3.7.5. Carga Hidráulica

Es el volumen de tratamiento por metro cuadrado de área superficial en un día que se produce en los humedales construidos, estos son obtenidos de la siguiente manera:

$$CH = \frac{\text{Área Superficial}}{\text{Caudal}}$$



Para los humedales construidos, se obtuvo de la división entre el Área superficial total / Caudal de tratamiento, obteniendo una CH de 0.144 m³/m²*d. Ahora bien, de esta manera se logra determinar la CH del humedal construido.

3.7.6. Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Es el tiempo en el que el volumen de ingreso sale del sistema de tratamiento, este volumen avanza horizontalmente hasta que salga por completo, esto se obtiene de la siguiente manera (Consultores, 2020):

$$TRH = \frac{\text{Volumen total}}{\text{Caudal}}$$

Para estos humedales, se realizó la división entre el Volumen total / Caudal de tratamiento obteniendo TRH de 4.86 Días.

3.7.7. Componentes del humedal construido

Entre los principales tenemos: El agua, sustratos, sedimentos, restos de vegetación y micro organismos.

3.7.8. Características de desarrollo de la *Schoenoplectus californicus*

(totora)

Según Sucari (2022), “Debido a que la siembra por método de semilla lleva más tiempo y requiere un control estricto del agua, se optó por la inoculación de ambas especies. Especies de plantas de uso común”. Esta especie necesita al menos 3 meses para reproducirse tanto por semillas como por métodos vegetativos bajo condiciones controladas de invernadero. Además, no se garantiza la adaptación de los vegetativos en el terreno definitivo del sistema de biorremediación con humedales.



En su lugar, se optó por la extracción de vegetativos (rizomas y tallos) de la especie, preferiblemente durante su etapa juvenil antes de la floración, cuando presenta una mayor capacidad fitorremediadora. Se utilizaron tijeras de podar y una pala recta para cortar pequeños "bloques" de vegetativos, que luego se envolvieron en papel periódico húmedo alrededor de las raíces (sin cubrir la parte aérea). Estos bloques se transportaron en jabas desde el Sector de Cojata, Distrito de Ananea hasta el sitio del sistema de biorremediación, Estos fueron autorizados con el código de autorización 21-PUN/AUT-IF-2020-002 por el SERFOR – MIDAGRI.

3.8. PROCEDIMIENTO

3.8.1. Recolección, Análisis y Toma de Muestras

Se utilizaron los equipos de un multiparámetro y un turbidímetro para los parámetros de pH, turbiedad, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales, se utilizó envases de plástico de 1L, para los metales Cu, Co y Cr se utilizó envases de plástico de 250ml y ácido nítrico como conservante, para el muestreo se enjuaga tres veces con la misma agua de cada punto de muestreo. En total se extrajo 16 muestras de 1 litro cada uno, estos estuvieron divididos en 4 fechas y de cuatro humedales. Las muestras de agua fueron tomadas según el protocolo de monitoreo de calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento (2014).

3.8.2. Métodos de análisis de laboratorio

Metodología utilizada en el análisis de los efluentes mineros para cada parámetro establecido en la investigación se indica la siguiente

Tabla 4*Parámetros que se tendrán en cuenta la investigación*

Parámetro	Unidad	Método o equipo	Tipo de muestreo
Potencial de hidrogeno	Unidades de pH	Sonda Multiparamétrica YSI Pro Plus	Simple
Conductividad eléctrica	μS/cm	Sonda Multiparamétrica YSI Pro Plus	Simple
Solidos Suspendidos Totales	ppm	Sonda Multiparamétrica YSI Pro Plus	Simple
Turbiedad	NTU	Turbidímetro Portátil HACH 2100Q	Simple
Cobre	mg/L	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica	Simple
Cobalto	mg/L	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica	Simple
Cromo	mg/L	SM: 3112 B Espectrometría de Absorción Atómica	Simple

Nota: (Corall & Gomez, 2017).

3.9. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Durante el trabajo de campo, se llevó a cabo un riguroso control de los parámetros físicos pertinentes. Se prestó especial atención al adecuado funcionamiento del humedal artificial, asegurándose de que ninguna materia contaminante pudiera infiltrarse y alterar las características del agua en dicho sistema

Laboratorio

Se procedió a determinar los niveles de metales pesados, tales como el cobre (Cu), el cobalto (Co) y el cromo (Cr), mediante el uso de un espectrofotómetro de



absorción atómica en el laboratorio ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L. Los datos recopilados fueron sometidos a un detallado proceso de análisis para evaluar la efectividad del sistema de humedales artificiales en la eliminación de dichos metales.

Análisis de datos

Se emplearon criterios específicos para evaluar la efectividad del sistema, utilizando herramientas estadísticas como la estadística inferencial como la prueba de comparación de t -student con un nivel de confiabilidad del 95%, tanto al inicio (afluentes) como al final (efluentes) del proceso de tratamiento de los humedales. Los datos recopilados fueron analizados exhaustivamente y se compararon con los estándares establecidos en el D.S. N° 010-2010 - MINAM, que establece los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicos. El propósito principal de este análisis fue garantizar el cumplimiento de los parámetros evaluados con los estándares normativos.

Asimismo, se tuvo hipótesis referente a la eficiencia de remoción de los metales (Cu, Co y Cr), que para determinar si son eficientes, se observó la significancia estadística, es decir si la diferencia entre el factor del afluente con el efluente resulta ser significativamente diferente, por ende se permitió un grado de incertidumbre con un alfa de 0.05. Determinando así que si el valor-p está por debajo de este valor entonces decimos que hubo una reducción significativa del metal en cuestión.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente capítulo se presentan los resultados por objetivos general y específicos, los datos fueron tomados de las muestras de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) de los efluentes mineros en el distrito de Ananea que fueron llevadas al laboratorio ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L., el laboratorio hizo entrega de datos, los cuales fueron tratados en el software Excel para luego pasarlos al software SPSS V25, para poder determinar los objetivos planteados en la presente investigación. Para determinar que el humedal con *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente o no en términos de remoción, primero establecemos el factor de eficiencia la cual lleva la siguiente formula:

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 (\%)$$

Luego realizamos el factorizado con la siguiente formula:

$$E(\%) = 100 - \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

4.1. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE COBRE (Cu)

Tabla 5

Eficiencia de remoción del Cobre

Cobre				
Fecha	Afluente (Dc/L)	Efluente	Factor	Eficiencia %
28/09/2022	0.3928	0.0095	2.42	97.58
1/10/2022	0.2928	0.0158	5.40	94.60
4/10/2022	0.4092	0.0169	4.13	95.87
9/10/2022	0.5998	0.0201	3.35	96.65
Promedio	0.4236	0.0155	3.82	96.18

Nota: Datos obtenidos a partir de los resultados de Laboratorio.

En la Tabla 5 se presenta la eficiencia de la remoción del cobre (Cu) en los efluentes mineros de Ananea mediante el uso de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (tatora). Se destaca que en el primer monitoreo se logró una eficiencia de remoción del cobre del 97.58%, mientras que el promedio general de eficiencia de remoción del cobre en todos los monitoreos fue del 96.18%.

Comprobación de la Hipótesis

H_a: El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (tatora) **es eficiente** para la remoción de Cobre (Cu) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.

$$p < 0.05$$

H₀: El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (tatora) **no es eficiente** para la remoción de Cobre (Cu) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.

$$p \geq 0.05$$

Tabla 6

Prueba T de Student del Afluente y Efluente del Cobre (Cu)

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par	Afluente -	0,39225	0,08572	0,04286	0,25585	0,52865	9,152	3	0,003
1	Efluente								

Nota: Datos obtenidos con el software SPSS v25.

La Tabla 6 presenta la comparación entre las muestras del afluente y efluente respecto a la concentración de cobre en los humedales artificiales que emplean *Schoenoplectus californicus* (tatora). El análisis estadístico revela un valor p de 0.003, que es significativamente menor al nivel de significancia establecido de 0.05. Este resultado indica que la probabilidad de que la diferencia observada entre el afluente y el efluente sea producto del azar es menor al 0.3%, lo que supera un nivel de confianza a un

95% y 99%. Dado este alto nivel de confianza estadística, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna. Por lo que existe evidencia estadística para afirmar que el sistema de humedales artificiales es eficiente en la remoción de cobre (Cu).

4.2. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE COBALTO (Co)

Tabla 7

Eficiencia de remoción del Cobalto

Cobalto				
Fecha	Afluente	Efluente	Factor	Eficiencia %
28/09/2022	0.2309	0.002	0.87	99.13
1/10/2022	0.21	0.002	0.95	99.04
4/10/2022	0.2241	0.002	0.89	99.1
9/10/2022	0.1941	0.002	1.03	98.96
Promedio	0.2148	0.002	0.94	99.06

Nota: Datos obtenidos a partir de los resultados de Laboratorio.

En la Tabla 7 se presenta la eficiencia de la remoción del cobalto (Co) en los efluentes mineros de Ananea mediante el uso de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (totora). Se destaca que en el primer monitoreo se logró una eficiencia de remoción del cobalto del 99.13%, mientras que el promedio general de eficiencia de remoción del cobalto en todos los monitoreos fue del 99.06%.

Comprobación de la Hipótesis

Ha: El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de cobalto (Co) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.

$$p < 0.05$$

H₀: El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) no es eficiente para la remoción de cobalto (Co) de los efluentes mineros del distrito de Ananea

$$p \geq 0.05$$

Tabla 8

Prueba T de Student del Afluente y Efluente del Cobalto

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
95% intervalo de confianza									
de la diferencia									
		Desv.	Desv. Error					Sig.	
		Media	Desviación	promedio	Inferior	Superior	t	gl	(bilateral)
Par	Afluente -	0,2127	0,01636	0,00818	0,18672	0,23878	26,01	3	0,000
1	Efluente								

Nota: Datos obtenidos con el software SPSS v25.

La Tabla 8 presenta la comparación entre las muestras del afluente y efluente respecto a la concentración de cobalto en los humedales artificiales que emplean *Schoenoplectus californicus* (totora). El análisis estadístico revela un valor p de 0.000. Este resultado indica que la probabilidad de que la diferencia observada entre el afluente y el efluente sea producto del azar es prácticamente nula, lo que supera ampliamente los niveles de confianza del 95% y 99%.

Por lo que se rechaza la hipótesis nula (H₀) y se acepta la hipótesis alterna. Por lo tanto, existe una evidencia estadística contundente para afirmar que el sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente en la remoción de cobalto (Co).

4.3. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE CROMO (Cr)

Tabla 9

Eficiencia de remoción del Cromo

Cromo				
Fecha	Afluente	Efluente	Factor	Eficiencia %
28/09/2022	0.0608	0.0003	0.49	99.51
1/10/2022	0.09	0.0003	0.33	99.67
4/10/2022	0.1608	0.0003	0.19	99.81
9/10/2022	0.0998	0.0003	0.30	99.70
Promedio	0.10285	0.0003	0.33	99.67

Nota: Datos obtenidos a partir de los resultados de Laboratorio.

En la Tabla 9 se presenta la eficiencia de la remoción del cromo (Cr) en los efluentes mineros de Ananea mediante el uso de humedales artificiales con *Schoenoplectus californicus* (totora). Se destaca que en el cuarto monitoreo se logró una eficiencia de remoción del cromo del 99.7%, mientras que el promedio general de eficiencia de remoción del cromo en todos los monitoreos fue del 99.67%.

Comprobación de la Hipótesis

Ha: El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de cromo (Cr) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.

$$p < 0.05$$

H₀: El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de cromo (Cr) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.

$$p < 0.05$$

Tabla 10

Prueba T de Student del Afluente y Efluente del Cromo

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
95% de intervalo de									
confianza de la diferencia									
		Desv.	Desv. Error					Sig.	
		Media	Desviación	promedio	Inferior	Superior	t	gl	(bilateral)
Par	Afluente -	0,1030	0,04206	0,02103	0,03608	0,16992	4,898	3	0,016
1	Efluente								

Nota: Datos obtenidos con el software SPSS v25.

La Tabla 10 presenta la comparación entre las muestras del afluente y efluente respecto a la concentración de cromo en los humedales artificiales que emplean *Schoenoplectus californicus* (totora). El análisis estadístico revela un valor p de 0.016, que es menor al nivel de significancia establecido de 0.05. Este resultado indica que la probabilidad de que la diferencia observada entre el afluente y el efluente sea producto del azar es menor al 1.6%, lo que supera el nivel de confianza del 95% mas no del 99%.

Por ende, se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna. Por lo tanto, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente en la remoción de cromo (Cr).

4.4. RESULTADOS DEL AGUA SEGÚN PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

4.4.1. Resultados sobre parámetros físicos químicos

Tabla 11

Parámetros físicos químicos del efluente comparados con el ECA

	R1	S-1	S-2	H-1	H-2	S.H	ECA
Temperatura (°C)	12.03	11.21	11.55	12.64	11.74	8.83	Δ 3
PH (Unidades de pH)	6.51	7.15	6.99	7.54	7.97	7.53	6.5 – 8.5
Oxígeno Disuelto (mg/L)	12.03	11.21	11.55	12.64	11.74	8.83	≥ 4
SST ppm	10.06	5.10	4.90	13.25	15.61	16.80	<100
Turbidez (NTU)	8.55	4.44	1.52	9.46	16.30	14.97	Sin valor

Nota: Datos obtenidos a partir de los resultados de Laboratorio.

La Tabla 11 presenta los parámetros físicos químicos del humedal artificial utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora), en comparación con los niveles establecidos por la tercera categoría del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) según el (D.S.Nº 004-2017 MINAM, 2017), La temperatura más alta fue en el Humedal 1 (12.64°C) y la más baja en el Sedimentador 1 (11.21°C), el pH más elevado se dio en el Sedimentador 2 (7.53 °C) y el más bajo fue en el Reservorio 1 (6.51°C). Además, la cantidad más elevada de oxígeno disuelto se da en el Humedal 1 (12.64ml/L) y la más baja en el Sedimentador 1 (11.21mg/L); en cuanto a los sólidos suspendidos totales la mayor cantidad se da en el Humedal 2 (16.80ppm) y la menor cantidad se da en el Sedimentador 2 (4.90ppm) y con respecto a la turbidez la mayor cantidad se da en el Humedal 2 (16.30 NTU) y la menor cantidad se da en el Sedimentador 2 (1.52 NTU). Es importante destacar que todos estos parámetros físicos se mantienen dentro de los límites establecidos por el ECA.

Cabe mencionar, que los valores de la tabla 11 son el promedio de las mediciones realizadas en el horario de 10am, 12pm y 02pm, para los parámetros de pH, T °C, OD mg/L, así como, los valores de la turbidez se realizaron en el horario de las 12pm y 01pm en los puntos de muestreo mencionados.

4.4.2. Elementos inorgánicos

Tabla 12

Elementos inorgánicos del afluente y efluente comparados con el ECA

		28/09/2022	1/10/2022	4/10/2022	9/10/2022	Promedio	ECA
Cu	Afluente	0.3928	0.2928	0.4092	0.5998	0.42365	0.2
	Efluente	0.0095	0.0158	0.0169	0.0201	0.01557	0.2
Co	Afluente	0.2309	0.21	0.2241	0.1941	0.21477	0.05
	Efluente	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.05
Cr	Afluente	0.0608	0.09	0.1608	0.0998	0.10285	0.1
	Efluente	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.1

Nota: Elaboración propia en base a resultados del laboratorio ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L.

La Tabla 12 muestran los elementos inorgánicos del afluente y efluente del humedal artificial utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora), en comparación con los niveles establecidos por la tercera categoría del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) según el (D.S.Nº 004-2017 MINAM, 2017). Se observa que el valor máximo registrado en el afluente fue de 0.6 mg/L de cobre en la cuarta fecha de monitoreo, en comparación con el límite máximo permitido por el ECA de <2 mg/L. Tanto el afluente como el efluente se encuentran por debajo del ECA.

El valor máximo registrado de cobalto fue de 0.23 mg/L en la primera fecha de monitoreo, superando todos los valores del afluente los límites del ECA. Sin embargo, en el efluente, todos los valores están por debajo del límite de 0.05 mg/L establecido por el ECA. Por último, el valor máximo registrado de cromo

en el efluente fue de 0.16 mg/L, superando el límite establecido por el ECA, que es de 0.1 mg/L. No obstante, todos los demás valores del efluente se encuentran por debajo de los límites establecidos por el ECA (Ver Anexo 2: Datos complementarios).

4.5. RESULTADOS DE REMOCIÓN DE METALES EN GENERAL

Tabla 13

Remoción de metales pesados y prueba T de Student por metal

Metal	Afluente	Efluente	Remoción	Prueba t para la igualdad de medias						
				t	gl	Sig	Dif. X	E. E.	Inf.	Supe.
Al	93.06	0.04	99.96	158.71	6	0.00	93.02	0.59	91.59	94.45
Ba	114.42	0.08	99.93	292.94	6	0.00	114.34	0.39	113.39	115.30
B	0.01	0.04	-385.00	-5.20	6	0.00	-0.03	0.01	-0.05	-0.02
Ca	105.77	49.99	52.73	3.40	6	0.01	55.78	16.40	15.65	95.90
Ce	0.37	0.01	97.29	4.15	6	0.01	0.36	0.09	0.15	0.57
Co	0.21	0.00	99.06	24.17	6	0.00	0.21	0.01	0.19	0.23
Cu	0.41	0.02	96.18	9.01	6	0.00	0.39	0.04	0.29	0.50
Cr	0.10	0.00	99.67	4.88	6	0.01	0.10	0.02	0.05	0.15
Sr	0.82	0.15	81.22	10.10	6	0.00	0.67	0.07	0.51	0.83
P	2.28	2.69	-18.19	-1.89	6	0.11	-0.41	0.22	-0.95	0.12
Fe	84.35	2.25	97.34	205.09	6	0.00	82.10	0.40	81.12	83.08
Li	0.45	0.00	99.98	3.09	6	0.02	0.45	0.14	0.09	0.80
Mg	74.73	34.66	53.62	18.12	6	0.00	400.67	22.11	346.56	454.78
Mn	9.36	1.19	87.25	18.43	6	0.00	869.34	47.18	753.89	984.78
Ni	0.52	0.00	99.92	3.05	6	0.02	0.52	0.17	0.10	0.94
K	16.85	224.53	-1232.20	-16.20	6	0.00	-207.68	12.82	-239.05	-176.30
Si	212.29	32.91	84.50	172.66	6	0.00	179.38	1.04	176.84	181.92
Si	99.28	15.36	84.53	114.81	6	0.00	154.28	3.67	163.26	145.31
Na	14.67	21.23	-44.72	-4.73	6	0.00	-65.62	13.87	-99.56	-31.67
Ti	0.14	0.00	99.29	3.41	6	0.01	0.14	0.04	0.04	0.24
V	0.09	0.00	99.65	22.22	6	0.00	0.09	0.00	0.08	0.09
Zn	0.79	0.03	96.23	7.97	6	0.00	0.76	0.10	0.53	1.00

Nota: Elaboración propia en base a resultados del laboratorio ALAB Analytical Laboratory E.I.R.L.



De acuerdo a la Tabla 13 se destaca que, entre los metales evaluados, el Níquel (Ni) alcanzó la eficiencia máxima de remoción, con un impresionante 99.98%. Por otro lado, el Calcio (Ca) mostró la eficiencia más baja de remoción, con un 52.73%. La tabla también revela que en los humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora), registraron aumentos significativos en la concentración de ciertos metales, debido a los macronutrientes del sustrato aplicado a los humedales artificiales para el crecimiento de la *Schoenoplectus californicus* (totora) entre estos tenemos al Boro (B) que experimentó un incremento del 385%, el Fósforo (P) aumentó en un 18%, el Potasio (K) se elevó en un 1232%, y el Sodio (Na) mostró un aumento del 44%, siendo el más significativo el Potasio (K), ya que, es un nutriente esencial para el crecimiento y rebrote de la *Schoenoplectus californicus* (totora) y lograr mejores resultados para la remoción de metales.

Además, se aplicó la prueba T de Student a todos los metales se observa que, el valor de significancia para el Fósforo (P) es de 0.11, lo cual supera el nivel de alfa establecido en 0.05. Esto indica que no hubo cambios significativos entre el afluente y el efluente para este metal. Sin embargo, para el resto de los metales, el valor de significancia es inferior a 0.05, lo que sugiere que sí hubo cambios significativos entre el afluente y el efluente del humedal artificial.

La participación en el proyecto se da una vez terminada la construcción del sistema piloto y la captación del afluente para su funcionamiento, una vez culminado se realiza las mediciones de los parámetros físico – químicos en los siguientes puntos: captación, sedimentadores, humedales y salida de humeral, las cuales, se realizaron de manera inter diaria, así como, la toma de muestras para el envío y análisis de los metales del efluente.



Cabe mencionar que se realizó las gestiones necesarias para la elaboración de la capacitación del funcionamiento y aporte para el tratamiento de aguas al grupo JASS (Juntas administradoras de servicio de saneamiento) de la ciudad de Ananea, así como, la limpieza y reubicación de *Schoenoplectus californicus* (totora) dentro de los humedales artificiales.

La participación en el proyecto permitió observar de cerca la mejora y el impacto ambiental logrados con el sistema piloto de humedales artificiales, ya que, se observó a la fauna adaptándose al sistema de humedales, así como, el rebrote de la *Schoenoplectus californicus* (totora) y sobre todo al tratamiento aplicado para mejorar la calidad del agua en la zona. Finalmente, el proyecto dio a conocer el funcionamiento y aplicabilidad de esta tecnología en el tratamiento de aguas residuales de la minería en la región.

4.6. DISCUSIÓN

Los resultados respecto al Cobre (Cu) demuestran un porcentaje de remoción promedio de (96.18%) con un valor de afluente de (0.41 de Cu) reducida en (0.02 de Cu) en el efluente, con una *t* de Student (*p*-valor = 0.000) en la Unidad Minera Jesús Tres del Río Grande. Esto indica que la *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente en la remoción del Cobre, por lo que aceptamos la hipótesis que el uso de la *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente. Estos hallazgos son similares a los encontrados por Sucari (2022) quien obtuvo una remoción de Cobre de (96.66%) con el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora), por lo que se confirma que su eficiencia logrando una óptima remoción de Cobre a pesar de que la autora realizó su estudio en menor escala y dimensionamiento en sus humedales, cabe resaltar que sus materiales son de concreto y arena natural. Por otro lado, Alvarez y Espinoza (2022) obtuvieron una remoción de Cobre de (57.12%) con un tiempo de retención hidráulica de 14 horas. Esto debido a que los autores realizaron un tratamiento experimental, frente al tratamiento a escala piloto de esta investigación. Debido a que no se cumplió el TRH establecido y el tipo de flujo es continuo, lo cual hacía que la concentración inicial varíe en cada muestra realizada. Sin embargo Flores (2023) obtuvo una remoción de Cobre del (90%) en una solución preparada a base de cobre, zinc, plomo, hierro, nitrato de amonio, nitrato de sodio, y agua potable para simular agua ácida de mina. Esto se explica porque a nivel laboratorio y la construcción de sus humedales son en menor dimensiones, así como, sus pruebas para la remoción de Cobre se realizaron mediante la adsorción del macrófito realizando sus pruebas por vía seca y vía húmeda. Entonces se concluye que, la *Schoenoplectus californicus* (totora) es un excelente macrófita par la remoción de Cobre frente al *L. minor* (lenteja de agua), *T. latifolia* (Anchupalla) y el *P. australis* (Carrizo) como lo respalda la revisión bibliográfica de (Gutierrez & Zapata, 2023).



Referente a la remoción de cobalto (Co) se obtuvo una remoción promedio de (99.06%) con una entrada de afluente de (0.2148 de Co) que luego redujo a (0.002 de Co) y con un t de Student (p-valor = 0.000) en la Unidad Minera Jesús Tres del Río Grande. Esto indica que la *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente en la remoción del Co, por lo que aceptamos la hipótesis que el uso de la *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente. Estos resultados son similares a los encontrados por Singh & Chakraborty (2020) quienes obtuvieron una remoción de (93.7%) de cobalto gracias a su humedal artificial de flujo subterráneo horizonte para la remoción del drenaje Ácido Sintético de Mina (AMD) utilizando un sustrato rico en materia con espadaña común. Por lo que se podría conseguir una remoción de cobalto tanto a corto o a largo plazo con Totora o Espadaña. Cabe mencionar que existen pocos estudios relacionados sobre remoción de cobalto mediante sistema de humedales artificiales.

Los resultados respecto al cromo (Cr) demuestran un porcentaje de remoción promedio de (99.67%) con un valor de afluente de (0.1029 de Cr) reducida en (0.0003 de Cr) en el efluente y con una t de Student (p-valor = 0.001) en la Unidad Minera Jesús Tres del Río Grande. Esto indica que la *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente en la remoción del cromo, por lo que aceptamos la hipótesis que el uso de la *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente. Estos hallazgos son similares por Maine y otros (2017) obtuvieron una remoción del cromo en un (92.9%) usando la totora espadaña (*Typha domingensis*). Los autores no indican el tiempo de retención hidráulica en su humedal HC2, esto se explica porque se realizaron modificaciones como: impermeabilizó con una geomembrana de polietileno (PAD) de 1.5 mm de espesor, misma que sirve como sustrato de la totora espadaña (*Typha domingensis*). Es preciso mencionar que es los estudios de remoción de cromo son limitados por lo que viene siendo



un vacío de conocimiento. Igualmente los humedales artificiales puede ser utilizados también por la industria de curtiembre como lo indica (Ccarhuarupay et al., 2023).

Los resultados evidenciaron además que la *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente en la remoción tanto de Aluminio (99.96%), Bario (99.93%), Hierro (97.34%), Litio (99.98%), Magnesio (53.62%), Manganeso (87.25%), Níquel (99.92%) y Zinc (96.23%) y un ligero aumento en Boro, como se muestra en la Tabla 9. Estos hallazgos son similares a los encontrados por el análisis bibliográfico de diversos estudios de otros trabajos por Gutierrez y Zapata (2023), quienes calcularon un promedio de remoción de (83.56%) de Hierro con el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora) y respecto al Zinc obtuvieron un promedio de (90.39%) de remoción. Asimismo, Alvarez y Espinoza (2022) encontraron una remoción de Zinc de (57.73%) con el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora) a nivel laboratorio en un lapso de 3 meses tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM). Por el contrario Miranda (2019) obtuvo una remoción de Boro del (54%) en una concentración baja de este metal, a diferencia de la presente investigación donde los niveles de Boro subió ligeramente de pasar de (0.01 a 0.04). Esto podría explicarse debido a la materia orgánica o sustratos, ya que pueden contener pequeñas concentraciones de Boro que al paso del tiempo están varían ligeramente. Cabe señalar que los metales que subieron como el Potasio y Fósforo debido es producto al sustrato o tierra orgánica que se introdujo en el humedal para el crecimiento del macrófito. Es así que, el humedal artificial puede servir para la remoción de diferentes metales que se encuentran en al área y no excedas los valores permisibles del ECA (Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales).

Referente a los parámetros físico-químicos del afluyente del sistema de humedales con el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora) en la Unidad Minera Jesús Tres del Río Grande, se observa que de acuerdo al ECA se exige una variación de $\Delta 3$ con respecto a



la temperatura del agua evaluada, se tiene que el Humedal 1 presenta la temperatura más elevada (12.64 °C) y cumple con los parámetros, en el Humedal 2 se observa un pH más elevado (7.97) que está dentro del parámetro del ECA (Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales). Del mismo modo, el oxígeno disuelto (OD) más elevado se da en el Humedal 1 (12.64) el cual es adecuado; debido a que este debe ser superior al valor mínimo del ECA que exige estar \geq a los 4mg/L (riego de vegetales) y \geq 5 mg/L (bebida de animales). Todos estos parámetros cumplen con el ECA (Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales), por lo que podría considerarse apto para su uso. Estos hallazgos son similares a los encontrados por Sucari (2022), quien obtuvo un promedio de pH de (6.41) con el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora) debido a que su humedal contenía carbonato de Calcio, el cual reguló su acidez al promedio actual habiendo tenido un pH inicial de (4.6) y con una temperatura de (11 °C) en Huancavelica. Por su parte, Alvarez y Espinoza (2022) no tuvieron excelentes resultados, obteniendo un pH de (4.01) con *Schoenoplectus californicus* (totora), debido a que en su humedal no se encontraba materia que neutraliza el pH del agua de su afluente inicial que fue de (3.67), por lo que explica la poca variación del pH. Asimismo, Flores (2023) con el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora) tuvo una reducción de pH a partir del día 6 en adelante, donde logra estabilizarlo. Ya que, al inicio de su experimento obtuvo valores altos de pH entre (10 a 11) siendo un pH Alcalino, el cual baja su valor a partir del día 6 de su tratamiento con el uso de *Shoenoplectus californicus* (totora). Esto debido a que existe un proceso de oxidación de los metales y otras reacciones químicas dentro de los humedales como la acidez. Del mismo, la autora afirma que con respecto al oxígeno disuelto (OD), la *Schoenoplectus californicus* (totora) es más eficiente debido a que sus valores se encuentran dentro de los parámetros del ECA de \geq 5 mg/L en todos los días de su tratamiento. En tal sentido, los humedales con *Schoenoplectus californicus* (totora)



apuntan a que son eficientes con respecto a parámetros físico-químicos (pH, OD y temperatura).

Consideraciones finales

En la Unidad Minera Jesús Tres del Río Grande, se ha evaluado la eficiencia de la *Schoenoplectus californicus* (titora) en la remoción de metales pesados del agua de afluentes mineros. El agua tratada debe cumplir con los parámetros establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para la Categoría 3, que se refiere al riego de vegetales y la bebida de animales. Para determinar el tiempo óptimo de remoción de metales pesados, se recomienda un estudio a lo largo de tres meses, con un total de doce pruebas analíticas de los metales presentes en el agua. Este enfoque permitirá identificar la eficiencia temporal del proceso de fitorremediación. Los humedales artificiales, como los implementados en esta unidad minera, pueden ser utilizados como tratamientos secundarios para afluentes mineros o aguas residuales. Este método mejora la calidad del agua conforme a los estándares del ECA3. Estos sistemas son particularmente útiles para minas informales que disponen de lagunas artificiales y en la desembocadura de ríos, asegurando que el agua sea apta para el cultivo y el consumo de animales.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: El sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción de los metales pesados de los efluentes mineros del distrito de Ananea, además ayuda a los parámetros físico-químico del agua a estar por debajo de los niveles ECA.

SEGUNDA: El humedal artificial empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción del cobre (Cu); según la T de Student en su nivel de significancia estadística con un valor de 0.003, el cual se sitúa por debajo del nivel alfa de 0.05. además, el promedio de la eficiencia de remoción registrado de los cuatro monitoreos fue del 96.18 %.

TERCERA: El humedal artificial empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción del cobalto (Co) según la T de Student en su nivel de significancia estadística con un valor de 0.000, el cual se sitúa por debajo del nivel alfa de 0.05. además, el promedio de la eficiencia de remoción registrado de los cuatro monitoreos fue del 99.06%.

CUARTA: El humedal artificial empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) es eficiente para la remoción del cromo (Cr) según la t de Student en su nivel de significancia estadística con un valor de 0.016, el cual se sitúa por debajo del nivel alfa de 0.05. además, el promedio de la eficiencia de remoción registrado de los cuatro monitoreos fue del 99.67 %.

QUINTA: Los parámetros físicos y químicos registrados en el efluente del humedal artificial empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) se



encuentran por debajo de los niveles establecidos por la tercera categoría del Estándar de Calidad Ambiental (ECA), además los valores más cercanos a los límites del ECA fue el cobalto con un promedio de 0.002 y el límite establecido fue > 0.05 .



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** A los investigadores, se les recomienda evaluar la cantidad de remoción de los diversos metales pesados que existen en los afluentes mineros empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) en tallos y raíces más allá de solamente el análisis físico-químico del agua.
- SEGUNDA:** Se recomienda el uso de *Schoenoplectus californicus* (totora) en la remoción de Cobre de los afluentes de minas informales con presencia de lagunas artificiales, por encima del *L. minor* (*lenteja de agua*), *T. latifolia* (*Anchupalla*) y el *P. australis* (*Carrizo*). Asimismo, evaluar su remoción en la entrada y salida del sedimentador para mayor precisión.
- TERCERA:** Se recomienda el uso *Schoenoplectus californicus* (totora) en la remoción de Cobalto de los afluentes mineros como para minas informales con lagunas artificiales de Ananea. Asimismo, evaluar su remoción en la entrada y salida del sedimentador para mayor precisión.
- CUARTA:** Se recomienda el uso *Schoenoplectus californicus* (totora) en la remoción de cromo de los afluentes de minas informales con presencia de lagunas artificiales de Ananea. Asimismo, evaluar su remoción en la entrada y salida del sedimentador para mayor precisión.
- QUINTA:** Se recomienda evaluar el porcentaje de remoción máxima de la *Schoenoplectus californicus* (totora); considerando que, es una planta fácilmente adaptable a diversas temperaturas, climas y al medio geográfico de la zona altiplánica y la vida útil de esta puede afectar el



porcentaje de remoción ocasionando que no exista variación en los resultados buscados.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alquisira, C., Alarcón, A., & Ferrera, R. (2021). Fitorremediación: Alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24(Ddd), 1–15. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.326>
- Alvarez, R., & Espinoza, M. (2022). Eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (totorá), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (dam) en la bocamina Poderosa – Huachocolpa, 2021 [Universidad Nacional de Huancavelica]. En *Repositorio UNH*. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2755>
- Amábilis, L. E., Moeller, G., & Domínguez, M. D. C. (2015). Remoción de mercurio, cromo y plomo por humedales artificiales inoculados con cepas tolerantes. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(2), 21–34. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000200002
- Arias, J., Holgado, J., Tafur, T., & Vasquez, M. (2022). Metodología De La Investigación. En *Metodología de la investigación: El método ARIAS para desarrollar un proyecto de tesis*. <https://doi.org/https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>
- Calle, M., & Coello, R. (2015). Uso de humedales artificiales superficiales para remoción de contaminantes industriales [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. En *Repositorio ESPL*. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/30736>
- Ccarhuarupay, R., Checcya, J., & Salhua, M. (2023). Microorganismos eficaces y fitorremediación en humedales mixtos artificiales para el tratamiento de aguas residuales de curtiembre del Parque Industrial Río Seco - Arequipa, 2021 [Universidad Continental]. En *Repositorio UC*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13023>
- Consultores, Q. (2020). *Plan de administración y manual de operación*.
- Coral, P., & Gomez, L. (2017). Evaluación de la eficiencia de la especie *Heliconia psittacorum* en la remoción de mercurio proveniente de los efluentes mineros en un entable de Suárez Cauca. [Tesis de Grado, Universidad Autónoma del Cauca]. En *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*. <http://repositorio.uniautonoma.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/18>
- Corall, P., & Gomez, L. (2017). *Evaluación de la eficiencia de la especie heliconia psittacorum en la remoción de mercurio proveniente de los efluentes mineros en un entable de Suárez Cauca*. Corporación Universitaria Autónoma del Cauca Facultad.
- D.S.Nº 004-2017 MINAM. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias* (pp. 10–19).
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and*



- Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Andrade, M., & Pérez, L. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. *Centro Andino para la Gestion y uso del Agua*, 1–115. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Domínguez, M., Gomez, S., & Ardilla, A. (2016). *Fitorremediacion de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera*. 227–237. <http://contexto.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/705/0>
- Fernández, M., & Flores, D. (2019). Remoción de metales pesados de efluentes minero-metalúrgico mediante filtro bioadsorbente con fibras lignocelulósicas en Santa Rosa de Quives, Lima. [Tesis de Grado, Universidad Peruana Unión]. En *Repositorio UPEU*. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1884>
- Flores, M. (2023). Evaluacion de la utilizacion de Wetland Aerobicos para la eliminacion de metales pesados en aguas contaminadas [Pontificia Universidad Católica del Perú]. En *Repositorio PUCP*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/27206>
- Gargallo, S. (2017). Modelación de la calidad de las aguas en los humedales artificiales de flujo superficial (HAFS). Aplicación a los HAFS del Tancat de la Pipa en l'Albufera de València [Unviersidad Politecnica de Valencia]. En *Repositorio UPV*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/78215>
- Gutierrez, D., & Zapata, A. (2023). Analisis de la capacidad de fitorremediacion de las especies macrofitas: eichhornia crassipes ,lemnna minor, typha latifolia,phragmites australis, scirpus californicus en el tratamiento de efluentes con metales pesados, 2022 [Universidad Privada del Norte]. En *Repositorio UPN*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33925>
- Hidalgo, J. (2019). Constructive applications of totora (*Schoenoplectus californicus*) in binderless boards [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. En *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab* (Vol. 1, Número 1). <https://oa.upm.es/56706/>
- Huamani, J. (2022). Fitorremediacion con macrofitas en la remocion de metales pesados en aguas residuales, a nivel de laboratorio,2021 [Tesis de Grado, Universidad Nacional Federico Villareal]. En *Repositorio UNFV*. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/6123>
- Justo, E. (2019). Evaluación de dos especies vegetales en la fitorremediación de metales pesados en el río Moquegua, 2018. [Tesis de Grado, Unversidad Alas Peruanas]. En *Repositorio UAP*. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/8969>
- López, F. (2000). Impacto ambiental de la minería en el desarrollo rural de las comunidades afectadas en el Perú. *Biblioteca CLACSO*, 1–14. <https://biblioteca.clacso.edu.ar/Colombia/fear-puj/20190717043539/flopez.pdf>
- Maine, M., Sánchez, G., Hadad, H., Caffaratti, S., Del Carmen, M., Di Luca, G., & De Las Mercedes, M. (2017). Humedales construidos para tratamiento de efluentes de industrias metalúrgicas en Santa Fe, Argentina. *Tecnologia y Ciencias del Agua*,



- 7(1), 5–16. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n1/2007-2422-tca-7-01-00005.pdf>
- Mamani, R., & Viracocha, R. (2023). *El investigador para principiantes de la Investigación*. Ruah de Dios.
- Manrique, H., & Sanborn, C. (2021). La minería en el Perú: balance y perspectivas de cinco décadas de investigación. En *Repositorio Universidad del Pacífico* (1st ed.). Fondo Edit. <https://doi.org/10.21678/978-9972-57-458-0>
- Márquez, J. M., Valdés, A., García, C., Rodríguez-Humberto, Gamboa, J., & Luna, H. (2020). Evaluación de los efectos sinérgicos de cromo y plomo durante el proceso de fitorremediación con berro (*Nasturtium officinale*) en un humedal artificial. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 22(2), 171–178. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i2.1259>
- Martelo, J., & Borrero, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revision del estado de arte. *Sistema de Informacion Cientifica*, 8(15), 221–243. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83524069011>
- Mayta, D. (2021). Evaluacion de la capacidad fitorremediadora de cromo a diferentes concentraciones por *Eleocharis Montevidensis*, empleando sistemas de humedades artificiales. [Tesis de Grado, Universidad Cesar Vallejo]. En *Repositorio UCV*. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/74810>
- Mena, C., & Eyzaguirre, A. (2020). Efectos de la *Eichhornia Crassipes* en la remoción de mercurio en efluentes mineros provenientes de la minería artesanal (Secocha , 2019) [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica del Perú]. En *Repositorio UTP*. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3609>
- MINAN. (2017). Estandares de calidad ambiental (ECA) para agua. *El Peruano*, 6–9. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-estandares-de-calidad-ambiental-eca-para-agua-y-e-decreto-supremo-n-004-2017-minam-1529835-2/>
- Miranda, E. (2019). Evaluación de la capacidad fitorremediadora *Schoenoplectus californicus* (totora) para remoción de arsénico y boro mediante humedales de flujo horizontal in vitro [Universidad Alas Peruanas]. En *Repositorio UAP*. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/8674>
- Montaño, C., Cárdenas, N., & Herrera, Y. (2013). Caracterización de la comunidad de Macrófitas acuáticas en lagunas del Páramo de La Rusia(Boyaca-Colombia). *Revista Ciencia en Desarrollo*, 4(2), 73–82. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882013000200009
- Ñaupas, H., Valdivia, M. R., Palacios, J. J., & Romero, H. E. (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. En *Journal of Chemical Information and Modeling* (Edición, 5). Ediciones de la U. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ortigoza, K., & Corredor, S. (2021). Análisis De Alternativas Para La Descontaminación De Aguas Residuales De Orígenes Domiciliarios Y Contaminadas Con Metales Pesados Mediante El Uso De Humedales Artificiales Y Macrófitas [Tesis de Grado, Universidad Santo Tomas]. En *Repositorio UST*. <http://hdl.handle.net/11634/35327>



- Pachas, D. (2014). La exploración minera en el Perú: Un breve alcance sobre las principales autorizaciones para el desarrollo de un proyecto de exploración en el Perú. *Derecho & Sociedad*, 42, 321–328. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoysociedad/article/view/12487>
- Palacios, M., Gualli, D., & Manzano, M. (2020). Planta de Totora en humedal artificial de flujo subsuperficial. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 1–11. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2020/09/planta-totora.html>
- Peralta, J. (2019). Evaluación del sistema islas flotantes artificiales (IFA) para la remoción de arsénico, a escala real en el reservorio del proyecto de riego Tiliche San José Alto en el periodo 2021-2022 [Universidad Técnica de Cotopaxi]. En *Repositorio UTC*. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6265>
- Poma, S. (2015). *Estimacion de la remocion de cromo, hierro y manganeso mediante un humedal artificial utilizando Eichhornia crassipes* [Tesis de Grado, Universidad Nacional del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/1557>
- Puma, A., Gonzales, T., Yaulilahua, R., & Salas, W. (2022). Eficiencia de Schoenoplectus Californicus y Nasturtion Officinale como Purificadores de Agua en el Efluente Residual de la Granja Experimental de Porcinos. *Revista Científico-Académica Multidisciplinaria*, 7(3), 190–202. <https://doi.org/https://doi.org/10.23857/pc.v7i3.3725>
- Quispe, C., & Peralta, H. (2021). Eficiencia de fitorremediacion de Schoenoplectus Californicus y Lemna minor en al desembocadura de la laguna Lagunillas, del rio Santa Lucia, Juliaca-2021 [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo]. En *Repositorio UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/81087>
- Ríos, R. R. (2017). *Metodología para la investigación y redacción* (1st ed.). Servicios Académicos Intercontinentales S.L. Edición: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2017/1662/1662.pdf>
- Rivas, A., & Paredes, D. (2014). Evaluación de las emisiones de metano provenientes de humedales de flujo subsuperficial que tratan aguas servidas a través de actividad metanogénica. En *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua* (1st ed., Vol. 1). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Salome, J. (2022). Determinacion del contenido de metales pesados en Entisols en zonas de actividad Industrial y Comercial en la Region de Ucayali-Peru [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ucayali]. En *Repositorio UNU*. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/5844?show=full>
- Samudio Oggero, A., Nakayama, H., Avalos, C. R., Cantero, I., Benitez, J. V., Ayala, J., Elkhali, R., & Peralta, I. (2021). Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por Typha domingensis. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 26(2), 100–113. <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.100>
- Sarria, R., Gallo, J., & Benítez, R. (2020). Tecnologías para remover metales pesados presentes en aguas. Caso Cromo y Mercurio. *Journal de Ciencia e Ingeniería*, 12(1), 94–109. <https://doi.org/10.46571/jci.2020.1.8>



- Serrano, M. A. (2022). Evaluación de capacidad de remoción de metales pesados por parte de Microalga *Chlorella* sp. y Totora *Scirpus californicus*. para su uso en humedales artificiales [Escuela Superior Politécnica de Chimbote]. En *Repositorio ESPC*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16938>
- Silva, J. (2004). Evaluación y rediseño del sistema de lagunas anaerobias de la universidad de piura [Tesis de Grado, Universidad de Piura]. En *Repositorio UP*. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/80362bd5-3f28-4a3b-8bd8-7be696aa0931>
- Singh, S., & Chakraborty, S. (2020). Performance of organic substrate amended constructed wetland treating acid mine drainage (AMD) of North-Eastern India. *Journal of Hazardous Materials*, 397(April), 122719. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122719>
- Sucari, A. (2022). Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando *scirpus californicus* (totorá) y *festuca dolichophylla* (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. En *Repositorio UNDAC*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2445>
- Villalobos, J. R., & Valencia, M. P. (2015). Evaluación de la degradación de contaminantes ecotóxicos de las aguas de residuales de la industria minera por medio de humedales artificiales [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. En *Repositorio PUCP*. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14458>

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de Consistencia

Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Prueba Estadística
PG: ¿Cuál es el nivel de eficiencia de la remoción de metales (Cu, Co y Cr) en el sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) en los efluentes mineros del distrito de Ananea?	OG: Evaluar la eficiencia de remoción de los metales (Cu, Co y Cr) en un sistema piloto de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.	Hi: El sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) es eficiente para la remoción de los metales pesados (Cu, Co y Cr) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.		<p>Tipo de investigación: Observacional-analítico</p> <p>Diseño: Descriptivo</p> <p>Población: La población es el efluente minero del distrito de Ananea</p> <p>Muestra: 16 muestras que se tomaron en diferentes fechas.</p> <p>Método de investigación: Técnica: Observación</p> <p>Instrumento: Equipos de medición, laboratorios.</p> <p>Prueba de hipótesis: Para evaluar la efectividad del sistema, se utilizó la fórmula de la eficiencia de remoción de metales, estadística descriptiva y la prueba de la distribución de t-student con un nivel de confianza del 95%, tanto al inicio como al final del tratamiento.</p>
Preguntas Específicas	Objetivos específicos	Hipótesis específicas		
PE1: ¿Cuál es el nivel de eficiencia de la remoción de Cobre (Cu) en el sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) en los efluentes mineros del distrito de Ananea?	OE1: Evaluar la eficiencia de remoción de Cobre (Cu) en un sistema piloto de humedales artificiales utilizando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.	HE1: El sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) es eficiente para la remoción de Cobre (Cu) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.	Variable Independiente: Sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora).	
PE2: ¿Cuál es el nivel de eficiencia de la remoción de Cobalto (Co) en el sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) en los efluentes mineros del distrito de Ananea?	OE2: Evaluar la eficiencia de remoción de Cromo (Cr) en un sistema piloto de humedales artificiales utilizando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.	HE2: El sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) es eficiente para la remoción de Cobalto (Co) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.		
PE3: ¿Cuál es el nivel de eficiencia de la remoción de Cromo (Cr) en el sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) en los efluentes mineros del distrito de Ananea?	OE3: Evaluar la eficiencia de remoción de Cobalto (Co) en un sistema piloto de humedales artificiales utilizando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.	HE3: El sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) es eficiente para la remoción de Cromo (Cr) de los efluentes mineros del distrito de Ananea.	Variable Dependiente: Eficiencia de remoción de metales pesados	
PE4: ¿Cuál es la calidad del agua en los parámetros físicos y químicos comparados con los niveles máximo permisibles por el ECA, en el efluente del sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora)?	OE4: Describir la calidad del agua en los parámetros físicos y químicos en el efluente del sistema de humedales artificiales utilizando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora), en comparación con el ECA.	HE4: La calidad del agua en los parámetros físicos y químicos, en el efluente del sistema de humedales artificiales empleando <i>Schoenoplectus Califormicus</i> (totora) cumplen con los niveles máximo permisibles por el ECA.		



ANEXO 2. Normalidad de datos

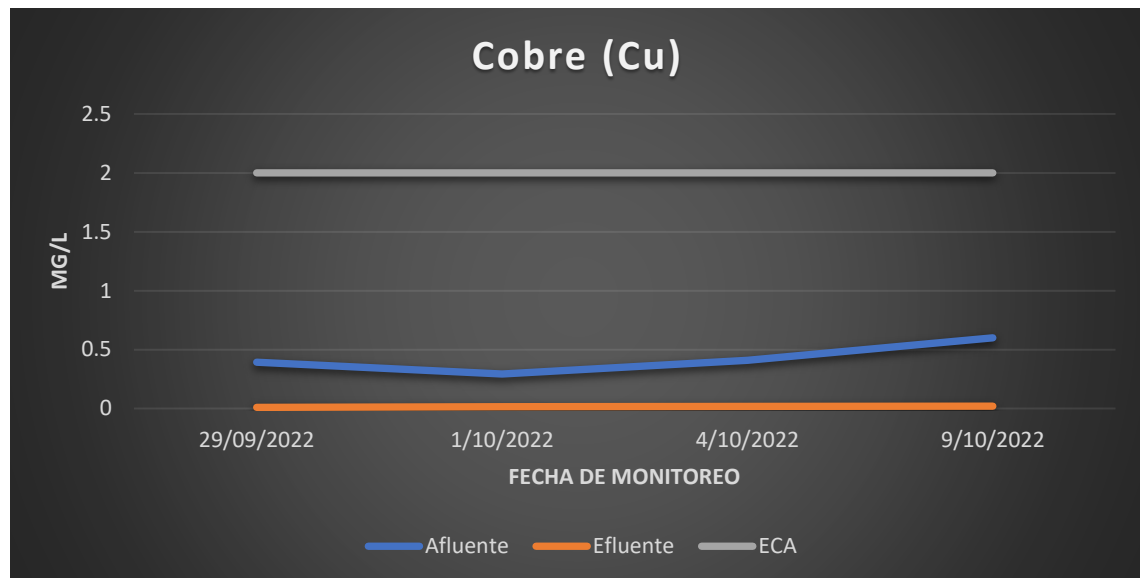
Elemento		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aluminio (*)	Afluente	0.343	4		0.775	4	0.065
	Efluente	0.438	4		0.635	4	0.002
Bario (*)	Afluente	0.339	4		0.860	4	0.260
	Efluente	0.312	4		0.905	4	0.456
Boro (*)	Afluente	0.441	4		0.630	4	0.001
	Efluente	0.379	4		0.809	4	0.120
Calcio (*)	Afluente	0.273	4		0.912	4	0.490
	Efluente	0.412	4		0.681	4	0.007
Cerio (*)	Afluente	0.250	4		0.945	4	0.683
	Efluente		4			4	
Cobalto (*)	Afluente	0.214	4		0.960	4	0.778
	Efluente		4			4	
Cobre (*)	Afluente	0.198	4		0.958	4	0.764
	Efluente	0.274	4		0.939	4	0.650
Cromo (*)	Afluente	0.278	4		0.934	4	0.617
	Efluente		4			4	
Estroncio (*)	Afluente	0.151	4		0.993	4	0.972
	Efluente	0.329	4		0.874	4	0.314
Fosforo (*)	Afluente	0.284	4		0.873	4	0.311
	Efluente	0.280	4		0.867	4	0.287
Hierro (*)	Afluente	0.371	4		0.785	4	0.078
	Efluente	0.245	4		0.965	4	0.810
Litio (*)	Afluente	0.260	4		0.827	4	0.161
	Efluente		4			4	
Magnesio (*)	Afluente	0.389	4		0.703	4	0.012
	Efluente	0.311	4		0.880	4	0.338
Manganeso (*)	Afluente	0.273	4		0.852	4	0.233
	Efluente	0.255	4		0.882	4	0.348
Níquel (*)	Afluente	0.283	4		0.863	4	0.272
	Efluente		4			4	
Potasio (*)	Afluente	0.177	4		0.995	4	0.981
	Efluente	0.332	4		0.873	4	0.308
Sílice (**)	Afluente	0.277	4		0.858	4	0.253
	Efluente	0.166	4		0.984	4	0.928
Silicio (*)	Afluente	0.254	4		0.873	4	0.309
	Efluente	0.166	4		0.984	4	0.927
Sodio (*)	Afluente	0.283	4		0.859	4	0.257
	Efluente	0.296	4		0.890	4	0.381
Titanio (*)	Afluente	0.214	4		0.963	4	0.798
	Efluente		4			4	
Vanadio (*)	Afluente	0.233	4		0.920	4	0.539
	Efluente		4			4	
Zinc (*)	Afluente	0.283	4		0.863	4	0.272
	Efluente	0.211	4		0.983	4	0.920

Nota: Generado a partir de datos del laboratorio usando SPSS v25.

ANEXO 3. Figuras complementarias

Figura 4

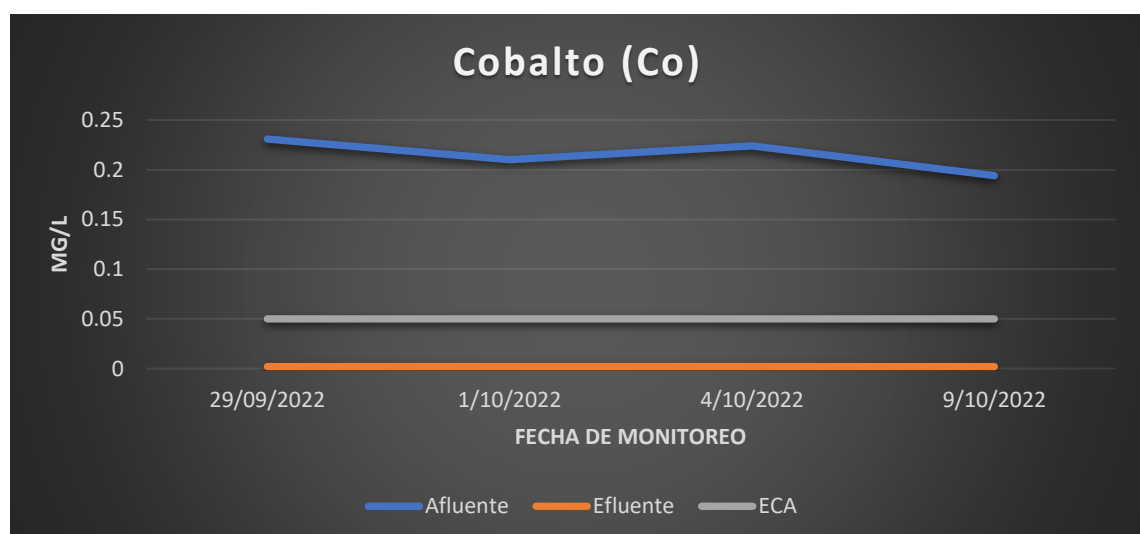
Comparación de niveles de Cobre en los efluentes mineros de Ananea y el ECA



En la Figura 4, se observa el resultado del agua tratada (efluente) mediante humedales artificiales *Schoenoplectus californicus* (totora) con un valor de Cobre que oscila en 0.015 mg/L, lo cual está por debajo de los niveles permitidos por el ECA que es de 2 mg/L.

Figura 5

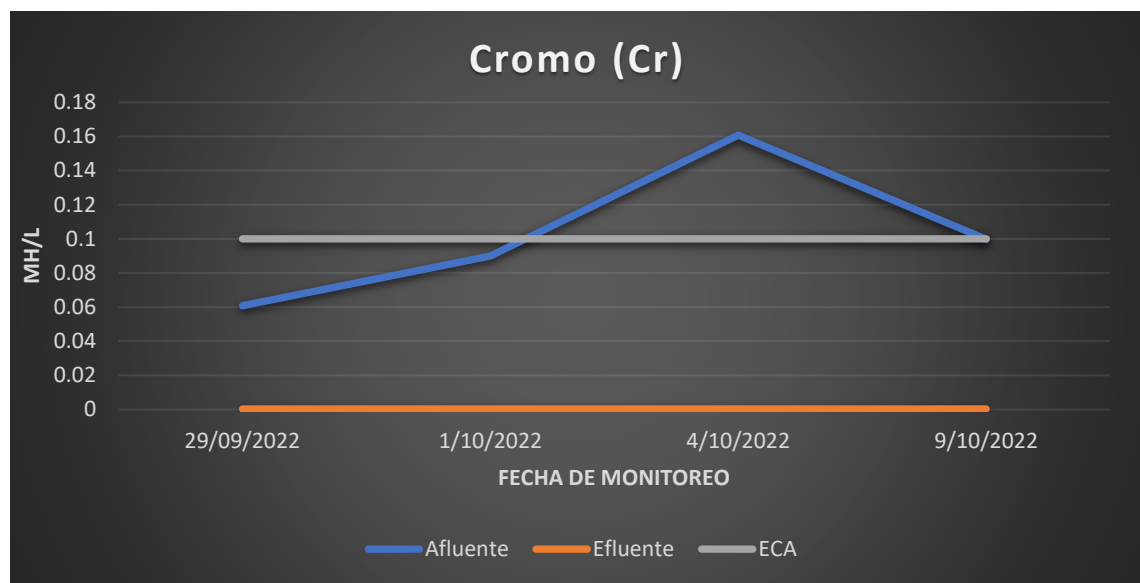
Comparación de niveles de Cobalto en los efluentes mineros de Ananea y el ECA



En la Figura 5, se observa el resultado del agua tratada (efluente) mediante humedales artificiales (*Schoenoplectus californicus* (totora)) con un valor de Cobalto que oscila en 0.002 mg/L, los cuales se encuentran por debajo del nivel permitido por el ECA que es de 0.05 mg/L.

Figura 6

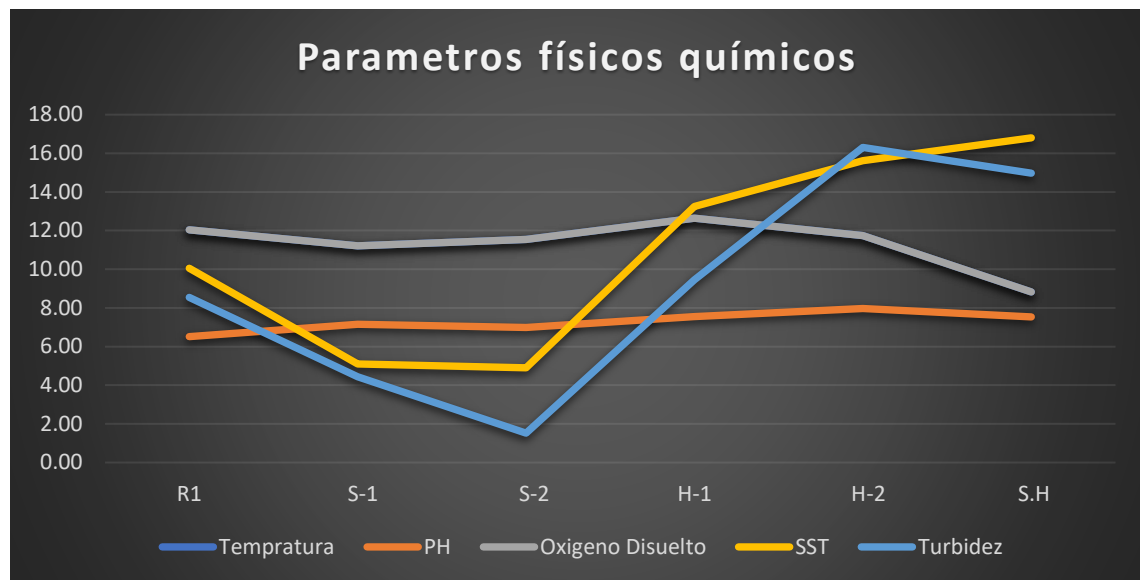
Comparación de niveles de Cromo en los efluentes mineros de Ananea y el ECA



En la Figura 6 se observa el resultado del agua tratada (efluente) mediante humedales artificiales *Schoenoplectus californicus* (totora) con un valor de Cromo que oscila en 0.0003 mg/L, los cuales se encuentran en niveles más bajos que el permitido por el ECA que es de 0.1 mg/L.

Figura 7

Parámetros físicos químicos del efluente comparados con el ECA

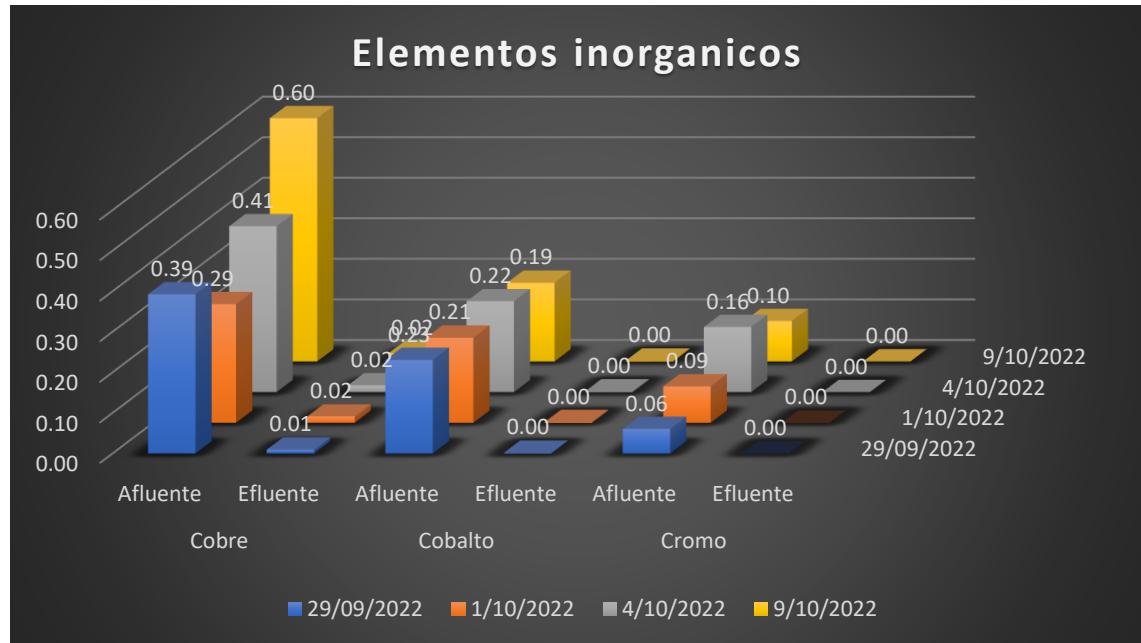


La Figura 7 muestra los parámetros físico-químicos del humedal artificial utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora) donde se explica la siguiente nomenclatura R1: es el reservorio; S-1 es el sedimentador 1; S-2 es el sedimentador 2; H-1 es el humedal artificial 1; H2 es el humedal artificial 2 y S.H es la salida del humedal. Todos estos puntos conforman el recorrido del agua iniciando en el reservorio, pasando por los sedimentadores y culminando por los humedales como se muestra en el Anexo 4.

Al analizar estos parámetros físico-químicos podemos constatar junto con la Tabla 11 que el pH se mantuvo relativamente constante desde el reservorio hasta la salida del humedal teniendo un mínimo de 6.51 a terminar con 7.97 de pH. A su vez, el oxígeno disuelto también se evidenció cierta variación empezando con 12.03mg/L teniendo cierta subida en el primer humedal y bajando otra vez a 8.83mg/L en la salida del segundo humedal. Del mismo modo, el SST sufrió una variación significativa, pasando de caer de 10.06ppm en el reservorio a 4.9ppm en los sedimentadores 1 y 2 y volviendo a subir considerablemente una vez entrando a los humedales, saliendo con un valor de 16.8ppm. Por último la turbidez siguió el mismo patrón iniciando con un valor de 8.55 y cayendo hasta los 1.52 en el segundo simentador y volviendo a subir en picado a 16.3 en el segundo humedal.

Figura 8

Elementos inorgánicos del afluente y efluente



Nota: Elaboración propia generada con Microsoft Excel 2019

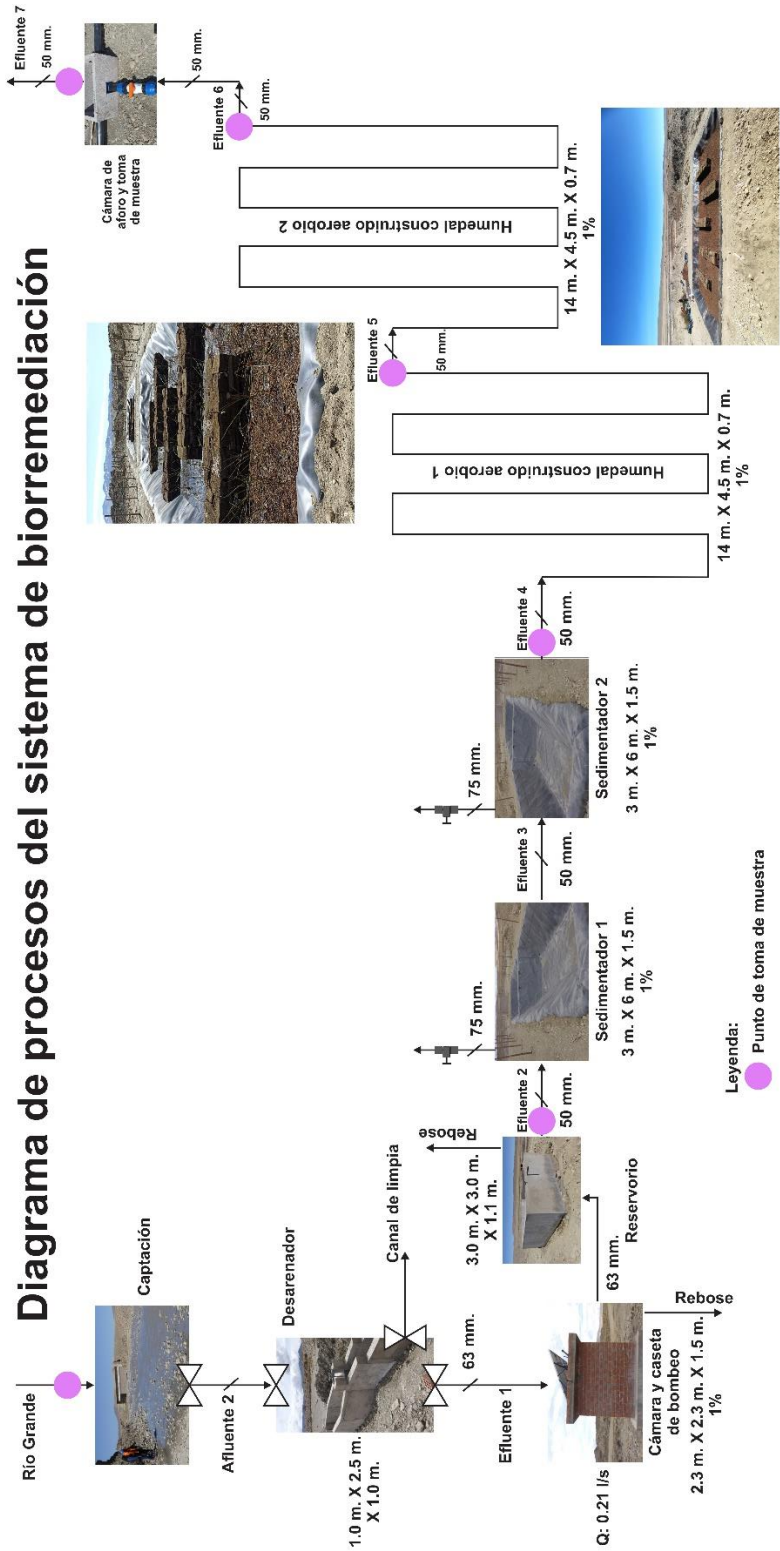
La figura 8 muestra los elementos inorgánicos del humedal artificial utilizando *Schoenoplectus californicus* (totora), el valor máximo registrado de cobre en el afluente fue de 0.60, pero en el efluente todas las fechas indican valores por debajo del ECA. El valor máximo registrado de cobalto en el afluente fue de 0.23mg/L, pero en el efluente todos los valores fueron por debajo de los permitidos por el ECA. El valor máximo registrado de cromo en el afluente fue de 0.16mg/L, pero en el efluente todos los valores fueron por debajo de los niveles permitidos por el ECA.

ANEXO 4. Diagrama del proceso del sistema de biorremediación



PROYECTO 00087268 – 00094362 "GESTION INTEGRADA DE LOS RECURSOS HIDRICOS EN EL SISTEMA TITICACA DESAGUADERO – POOPO – SALAR DE COIPASA (TDPS)"



Proyecto Piloto 06-P-01 "Técnicas de Reducción de Carga de Sedimentos y Mercurio Generados por las actividades de Minería en la Cuenca del Río Ramis"





ANEXO 5. Documentos presentados

Carta de Presentación por la Facultad de Ingeniería Química de la UNAP

 **Universidad Nacional del Altiplano - Puno**
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
Ciudad Universitaria- -apartado 291-TELEFAX 051 366190 

Puno C.U. 25 de agosto del 2022

CARTA Nro. 055-2022-D-FIQ-UNA-PUNO

Señor Ing
MIGUEL ENRIQUE FERNÁNDEZ MARES
Director de la Autoridad Administrativa del Agua XVI-Titicaca

Presente

De nuestra especial consideración:



Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarlo muy cordialmente, y a su vez deseándole bienestar en su salud y éxitos en su gestión. Así mismo la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno, concededores de las acciones que realiza el ANA, a través de la AAA Titicaca a favor de recursos hídricos, y de la implementación del Proyecto " Técnicas de Reducción de Carga de Sedimentos y Mercurio Generados por las Actividades de Minería en la Cabecera de la Cuenca del Río Ramis", es que solicito considerar como pasante a la egresada **GLENIA DANITH BIAMONTE CONDORI**, identificada con código de matrícula 122192, para que pueda realizar su tesis de investigación para optar el título profesional de Ingeniero Químico durante el proceso de implementación del proyecto piloto en mención.

En ese contexto de acuerdo a los procedimientos la tesista presentará su respectivo plan de trabajo y el tema de tesis a desarrollar que se encuentre relacionado a los objetivos del piloto.

No dudando de su aceptación y apoyo, para la preparación y mejora continua de nuestros egresados en beneficio de los profesionales y la sociedad civil de la Región Puno.

Agradeciendo anticipadamente la colaboración que nos brinde, aprovecho de la oportunidad para quedar de usted

Atentamente,

 
WALTHER B. APARICIO ARAGÓN, Ph.D
DECANO DE LA FIQ
UNA-PUNO



Carta de ejecución de proyecto de tesis



Firmado digitalmente por
FERNANDEZ MARES Miguel Enrique
FAU 20520711865 hard
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 15/08/2022

“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres”
“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”
“Año del Bicentenario del Congreso de la República del Perú”

CUT: 136115-2022

Puno, 15 de agosto de 2022

CARTA N° 0353-2022-ANA-AAA.TIT

Blga.

Caroll Noemi Flores Flores

Profesional asistente en la implementación del Proyecto Piloto 06-P-01
AV FLORAL 617 (caroll.flores@undp.org)

Puno.-

Asunto : Sobre tesis planteadas en humedales del Proyecto Piloto 06-P-01

Referencia : CARTA N° 001-GD

Es grato dirigirme a usted en calidad de profesional asistente en la implementación del Proyecto Piloto 06-P-01, para trasladarle el documento de la referencia, para requerirle a la brevedad:

- Antecedentes de realización de la tesis, convenio, comunicación oficial con la entidad o la consultora, en este último caso es materia de observación, dado que la consultora se sujeta a las condiciones contractuales de confidencialidad.
- Sin perjuicio de lo anterior, realizar una evaluación de pertinencia académica, y sugerir reconocimiento de créditos institucionales, ya que los tesisistas no financian la construcción y operación de los humedales.

Sin otro particular, hago extensiva las consideraciones de mi estima personal.

Atentamente,

FIRMADO DIGITALMENTE

MIGUEL ENRIQUE FERNANDEZ MARES

DIRECTOR

AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA - TITICACA

Urb. Villa el Lago Juan Velasco
Alvarado Mz. L - Lte. 11 - Puno
T: 051-356156
www.gob.pe/ana
www.gob.pe/midagri

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado de ANA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <http://sisged.ana.gob.pe/consultas> e ingresando la siguiente clave : E73DC845



Certificado de calibración de Analytical Laboratory E.I.R.L

Certificado



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente certificado de Acreditación a:

ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

Laboratorio de Calibración

En su sede ubicada en: Av. Guardia Chalaca N° 1877 - distrito Bellavista, provincia Constitucional del Callao, departamento Lima.

Con base en la norma

NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración

Facultándolo a emitir Certificados de Calibración con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-22F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Acreditación: 21 de octubre de 2021

Fecha de Vencimiento: 20 de octubre de 2024



Firmado digitalmente por RODRIGUEZ ALEGRIA
Alejandra FAU 20600283015 soft
Fecha: 2021-10-28 11:02:00
Motivo: Soy el Autor del Documento

ALEJANDRA RODRIGUEZ ALEGRIA
Directora, Dirección de Acreditación - INACAL

Cédula N° : 651-2021-INACAL/DA
Contrato N° : 061-2021/INACAL-DA
Registro N° : LC - 052

Fecha de emisión: 27 de octubre de 2021

El presente certificado tiene validez con su correspondiente Alcance de Acreditación y credula de notificación dado que el alcance puede estar sujeto a ampliaciones, reducciones, actualizaciones y suspensiones temporales. El alcance y vigencia debe confirmarse en la página web www.inacal.gob.pe/direccion/categorizaciones al momento de hacer uso del presente certificado.

La Dirección de Acreditación del INACAL es firmante del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral (MLA) de Inter American Accreditation Cooperation (IAAC) e International Accreditation Forum (IAF) y del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo con la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

DA-acr-01P-02M Ver. 02



ANEXO 6. Resultados de Laboratorio OLAB de las muestras



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17588

N° Id.: 0000061265

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-53431	M-22-53432	M-22-53433	M-22-53434			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP-1 (04/10)	SED-1 (04/10)	HUM-1 (04/10)	S.H. (04/10)			
COORDENADAS:	E:0431806	E:0431812	E:0431812	E:0431813			
UTM WGS 84:	N:8382642	N:8382664	N:8382687	N:8382711			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	04-10-2022 13:05	04-10-2022 13:12	04-10-2022 13:17	04-10-2022 13:22			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	-	-	-	-
Metales Totales ICP-MS							
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,351	<0,003	<0,003	<0,003
Antimonio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	<0,00030	0,00381	0,07894	0,08268
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Bismuto (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0384	0,0443
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Calcio (*)	mg/L	0,001	0,004	17,653	20,035	65,714	83,247
Cerio (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cesio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0198	0,0164	0,0225	0,0169
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Erbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Estroncio (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,11771	0,12839	0,15111	0,18036

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17588

N° Id.: 0000061265

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-53431	M-22-53432	M-22-53433	M-22-53434			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP-1 (04/10)	SED-1 (04/10)	HUM-1 (04/10)	S.H. (04/10)			
COORDENADAS:	E:0431806	E:0431812	E:0431812	E:0431813			
UTM WGS 84:	N:8382642	N:8382664	N:8382687	N:8382711			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	04-10-2022 13:05	04-10-2022 13:12	04-10-2022 13:17	04-10-2022 13:22			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Europio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Fosforo (*)	mg/L	0,002	0,006	0,060	0,020	2,655	2,617
Gadolinio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Galio (**)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Germanio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hafnio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	0,952	0,072	2,277	2,250
Holmio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Indio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Iterbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Itrio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Lantano (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Lutecio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	9,7354	10,4503	36,5554	38,1714
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,11464	0,01547	1,22728	1,29473
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100	<0,000100	<0,000100	<0,000100
Molibdeno (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Neodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"..": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.8 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17588

N° Id.: 0000061265

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-53431	M-22-53432	M-22-53433	M-22-53434			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP-1 (04/10)	SED-1 (04/10)	HUM-1 (04/10)	S.H. (04/10)			
COORDENADAS:	E:0431806	E:0431812	E:0431812	E:0431813			
UTM WGS 84:	N:8382642	N:8382664	N:8382687	N:8382711			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	04-10-2022 13:05	04-10-2022 13:12	04-10-2022 13:17	04-10-2022 13:22			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Niobio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Niquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Plata (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Potasio (*)	mg/L	0,003	0,010	2,869	3,581	219,980	233,017
Praseodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Renio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Rubidio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Samario (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sílice (**)	mg/L	0,001	0,002	13,114	13,277	32,131	33,572
Silicio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	6,1198	6,1961	14,9845	15,6669
Sodio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	7,7106	9,0818	20,2909	21,5072
Talio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Tántalo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Telurio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Titanio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Torio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Uranio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"..": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.9 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17347

N° Id.: 0000061024

ITEM	5	6	7	8
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-52866	M-22-52867	M-22-52868	M-22-52869
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP	SED	HUM	S.H
COORDENADAS:	E.0431779	E.0431779	E.0431779	E.0431779
UTM WGS 84:	N.8382673	N.8382673	N.8382673	N.8382673
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	28-09-2022 13:48	28-09-2022 13:53	28-09-2022 14:03	28-09-2022 14:13
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	-
Metales Totales ICP-MS				
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,262
Antimonio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	<0,00030
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Bismuto (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002
Calcio (*)	mg/L	0,001	0,004	17,079
Cerio (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010
Cesio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Erbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Estaño (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010
Estroncio (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,11220
				0,12200
				0,15590
				0,11510

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.7 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17347

N° Id.: 0000061024

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-52866	M-22-52867	M-22-52868	M-22-52869			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP	SED	HUM	S.H			
COORDENADAS:	E.0431779	E.0431779	E.0431779	E.0431779			
UTM WGS 84:	N.8382673	N.8382673	N.8382673	N.8382673			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	28-09-2022 13:48	28-09-2022 13:53	28-09-2022 14:03	28-09-2022 14:13			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Europio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Fosforo (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006	<0,006	2,355	2,285
Gadolinio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Galio (**)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Germanio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hafnio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	0,286	0,079	1,693	1,883
Holmio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Indio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Iterbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Itrio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Lantano (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Lutecio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	10,2809	11,2085	34,9494	28,5851
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,07660	0,00280	0,98880	0,94570
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100	<0,000100	<0,000100	<0,000100
Molibdeno (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Neodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.8 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17347

N° Id.: 0000061024

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-52866	M-22-52867	M-22-52868	M-22-52869			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP	SED	HUM	S.H			
COORDENADAS:	E.0431779	E.0431779	E.0431779	E.0431779			
UTM WGS 84:	N.8382673	N.8382673	N.8382673	N.8382673			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	28-09-2022 13:48	28-09-2022 13:53	28-09-2022 14:03	28-09-2022 14:13			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Niobio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Niquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Plata (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Potasio (*)	mg/L	0,003	0,010	2,295	3,429	220,158	187,837
Praseodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Renio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Rubidio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Samario (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Silice (**)	mg/L	0,001	0,002	12,672	14,142	32,819	30,920
Silicio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	5,9137	6,5995	15,3156	14,4292
Sodio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	7,4429	9,2254	21,8301	17,9086
Talio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Tántalo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Telurio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Titanio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Torio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	0,0345	0,0408	0,1205	0,1085
Uranio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.9 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17933

N° Id.: 0000061610

ITEM	5	6	7	8
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-54748	M-22-54749	M-22-54750	M-22-54751
CÓDIGO DEL CLIENTE:	RG-1	SED-1	HUM-1	S.H
COORDENADAS:	E.0431753	E.0431812	E.0431812	E.0431813
UTM WGS 84:	N.8382532	N.8382664	N.8382687	N.8382711
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :	09-10-2022 13:02	09-10-2022 13:12	09-10-2022 13:17	09-10-2022 13:22
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	-
Metales Totales ICP-MS				
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	92,383
Antimonio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	1,13299
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Bismuto (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002
Calcio (*)	mg/L	0,001	0,004	103,944
Cerio (*)	mg/L	0,003	0,010	0,319
Cesio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	0,2309
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,3928
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	0,0608
Erbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003
Estaño (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010
Estroncio (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,97235
				0,12209
				0,15338
				0,17850

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.7 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17933

N° Id.: 0000061610

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-54748	M-22-54749	M-22-54750	M-22-54751			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	RG-1	SED-1	HUM-1	S.H			
COORDENADAS:	E.0431753	E.0431812	E.0431812	E.0431813			
UTM WGS 84:	N.8382532	N.8382664	N.8382687	N.8382711			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	09-10-2022 13:02	09-10-2022 13:12	09-10-2022 13:17	09-10-2022 13:22			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Europio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Fosforo (*)	mg/L	0,002	0,006	2,037	<0,006	2,447	2,940
Gadolinio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Galio (**)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Germanio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hafnio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	84,021	0,249	1,569	2,689
Holmio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Indio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Iturbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Itrio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Lantano (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	0,49554	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Lutecio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	73,9284	8,8960	21,8740	36,2685
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	8,58151	0,03225	0,77963	1,33641
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100	<0,000100	<0,000100	<0,000100
Molibdeno (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Neodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"*": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.8 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17933

N° Id.: 0000061610

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-54748	M-22-54749	M-22-54750	M-22-54751			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	RG-1	SED-1	HUM-1	S.H			
COORDENADAS:	E.0431753	E.0431812	E.0431812	E.0431813			
UTM WGS 84:	N.8382532	N.8382664	N.8382687	N.8382711			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	09-10-2022 13:02	09-10-2022 13:12	09-10-2022 13:17	09-10-2022 13:22			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Niobio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Niquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	0,1718	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Plata (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Potasio (*)	mg/L	0,003	0,010	15,679	3,598	99,250	229,864
Praseodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Renio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Rubidio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Samario (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Silice (**)	mg/L	0,001	0,002	211,236	12,322	21,131	32,565
Silicio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	98,5770	5,7501	9,8609	15,1971
Sodio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	13,0483	8,8774	14,5377	22,2496
Talio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	0,0008	<0,0004
Tántalo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Telurio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Titanio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,0402	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Torio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Uranio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"*": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.9 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17452

N° Id.: 0000061129

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-53112	M-22-53113	M-22-53114	M-22-53115			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP-1 (01/10)	SED-1 801/10)	HUM-1 (01/10)	S.H.(01/10)			
COORDENADAS:	E:0431779	E:0431779	E:0431779	E:0431779			
UTM WGS 84:	N:8382673	N:8382673	N:8382673	N:8382673			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO :	01-10-2022 13:53	01-10-2022 14:02	01-10-2022 14:09	01-10-2022 14:18			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	-	-	-	-
Metales Totales ICP-MS							
Aluminio (*)	mg/L	0,001	0,003	0,472	0,038	<0,003	0,004
Antimonio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Arsénico (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Bario (*)	mg/L	0,00008	0,00030	0,00080	0,00480	0,05440	0,08520
Berilio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Bismuto (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Boro (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	0,0031	0,0158	0,0439
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Calcio (*)	mg/L	0,001	0,004	16,081	17,200	43,108	63,686
Cerio (*)	mg/L	0,003	0,010	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Cesio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Cobalto (*)	mg/L	0,0005	0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020	<0,0020
Cobre (*)	mg/L	0,0001	0,0002	0,0203	0,0061	0,0141	0,0158
Cromo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Erbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Estaño (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Estroncio (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,11730	0,12060	0,14500	0,16350

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(†) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "≤"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "≤"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.7 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17452

N° Id.: 0000061129

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-53112	M-22-53113	M-22-53114	M-22-53115			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP-1 (01/10)	SED-1 801/10)	HUM-1 (01/10)	S.H.(01/10)			
COORDENADAS:	E:0431779	E:0431779	E:0431779	E:0431779			
UTM WGS 84:	N:8382673	N:8382673	N:8382673	N:8382673			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	01-10-2022 13:53	01-10-2022 14:02	01-10-2022 14:09	01-10-2022 14:18			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Europio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Fosforo (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006	<0,006	1,215	2,935
Gadolinio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Galio (**)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Germanio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hafnio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hierro (*)	mg/L	0,001	0,002	0,879	0,056	1,595	2,160
Holmio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Indio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Iterbio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Itrio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Lantano (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Litio (*)	mg/L	0,00003	0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010	<0,00010
Lutecio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Magnesio (*)	mg/L	0,0006	0,0020	9,3858	9,2236	20,8807	35,6191
Manganeso (*)	mg/L	0,00002	0,00005	0,10780	0,01230	0,75400	1,19500
Mercurio (*)	mg/L	0,000033	0,000100	<0,000100	<0,000100	<0,000100	<0,000100
Molibdeno (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Neodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"..": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.8 de 10



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-17452

N° Id.: 0000061129

ITEM	5	6	7	8			
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-22-53112	M-22-53113	M-22-53114	M-22-53115			
CÓDIGO DEL CLIENTE:	CAP-1 (01/10)	SED-1 801/10)	HUM-1 (01/10)	S.H.(01/10)			
COORDENADAS:	E:0431779	E:0431779	E:0431779	E:0431779			
UTM WGS 84:	N:8382673	N:8382673	N:8382673	N:8382673			
PRODUCTO:	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial	Agua Residual Industrial			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA						
FECHA y HORA DE MUESTREO:	01-10-2022 13:53	01-10-2022 14:02	01-10-2022 14:09	01-10-2022 14:18			
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS			
Niobio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Niquel (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Plata (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Plomo (*)	mg/L	0,0008	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Potasio (*)	mg/L	0,003	0,010	2,149	3,463	91,958	247,398
Praseodimio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Renio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Rubidio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Samario (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Selenio (*)	mg/L	0,001	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Sílice (**)	mg/L	0,001	0,002	12,973	13,042	22,931	34,567
Silicio (*)	mg/L	0,0002	0,0007	6,0541	6,0863	10,7010	16,1313
Sodio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	8,2218	8,9792	14,3381	23,2744
Talio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Tántalo (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Telurio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Titanio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Torio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Uranio (*)	mg/L	0,0001	0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"..": No ensayado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

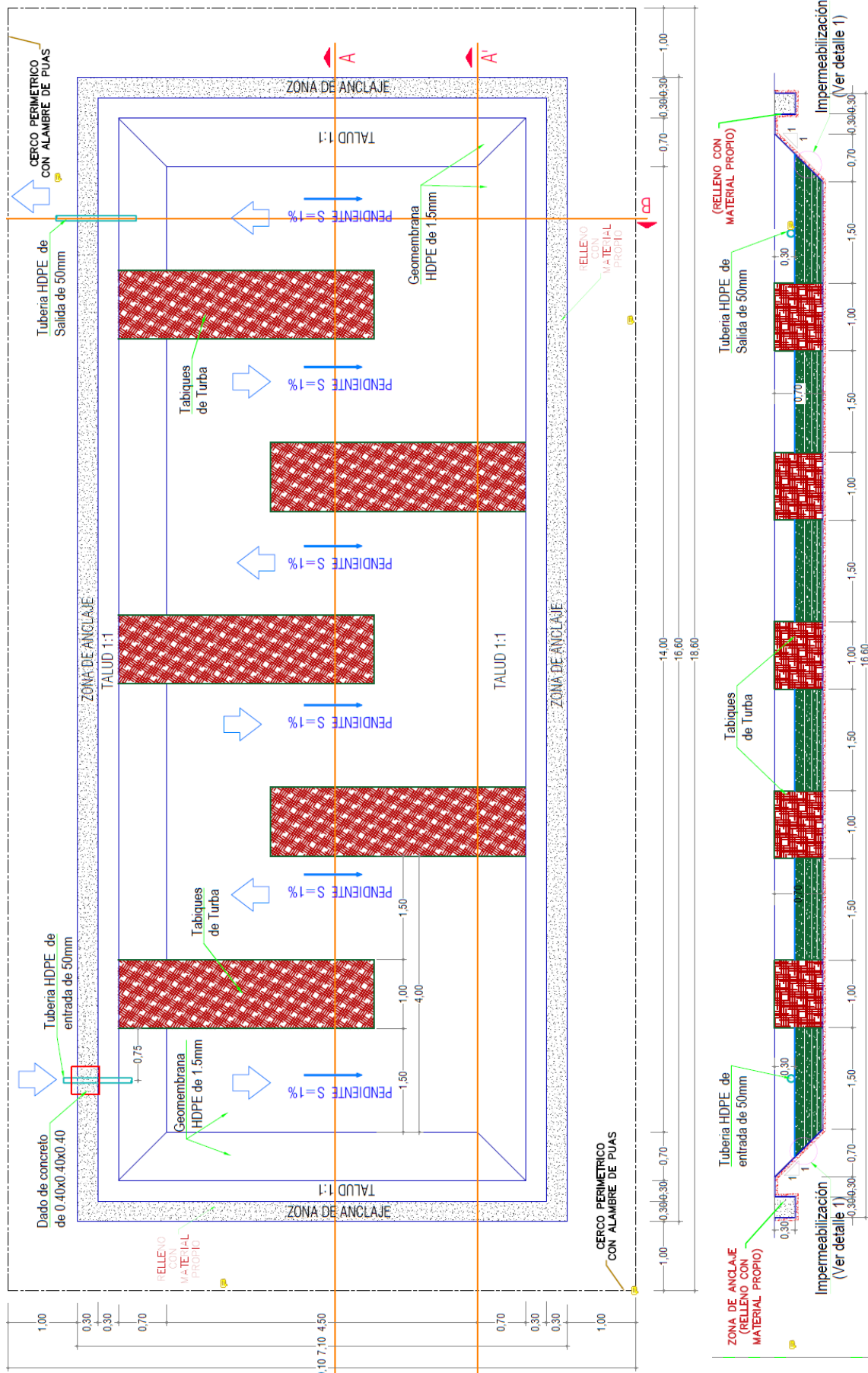
SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3 , Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.9 de 10

ANEXO 7. Plano de los humedales del proyecto piloto 06-P-01



ANEXO 8. Imágenes del Informe de adaptabilidad y estabilidad Expediente técnico del proyecto piloto 06-P-01

Captación

Captación del
agua de río



Desarenador

Desarenador



Cámara y Caseta de bombeo



Reservorio

Ingreso de agua al reservorio desde la cámara y caseta de bombeo



Cimentador 1 y 2



Humedales 1 y 2 con Totora



Humedal construido 1



Humedal construido 2



Cámara de aforo y toma de muestras



Salida de agua desde el
humedal construido 2

ANEXO 9. Panel Fotográfico



Nota: La fotografía evidencia la medición de los parámetros físico-químicos en la cámara de salida de humedal.



Nota: La fotografía evidencia el recojo de muestras y su almacenamiento para el envío hacia el Laboratorio ALAB para el análisis de metales pesados.



Nota: La fotografía evidencia la charla de capacitación sobre el sistema piloto de humedales artificiales para el tratamiento del agua a la junta administradora de servicios de saneamiento (JASS) de la ciudad de ANANEA.



Nota: La fotografía evidencia la medición de los parámetros físico-químicos en la salida del humedal 01.



Nota: La fotografía evidencia la medición de los parámetros físico-químicos en la salida del humedal 01.



Nota: La fotografía evidencia la separación de los sedimentadores para realizar la medición de los parámetros físico-químicos.



Nota: La fotografía la capacitación de los equipos: multímetro turbidímetro para la medición de los parámetros físico-químicos.



Nota: La fotografía evidencia la medición de turbiedad del agua en los 4 puntos de muestreo.



ANEXO 10. Acta de Autenticidad



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo GLENIA DANITH BIANMONTE CONDORI
, identificado con DNI 71452714 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERÍA QUÍMICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

“ EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METALES CON UN
SISTEMA DE HUMEDDALES ARTIFICIALES EMPLEANDO *Schoenoplectus*
californicus (TOTORA) EN LOS EFLUENTES MINEROS EN ANANEA”

” Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 08 de octubre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 11. Acta de deposición y publicación a PILAR



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo GLENIA DANITH BIAHONTE CONDORI

, identificado con DNI 71452714 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA QUÍMICA

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado Título Profesional denominado:

"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE METALES CON UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES EMPLEANDO Schoenoplectus californicus (TOTARD) EN LOS EFLUENTES MINEROS EN DISIÓN"

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

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

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

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

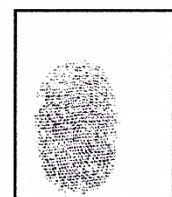
Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 08 de octubre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella