

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



**Remoción de metales pesados en relaves mineros mediante la aplicación de
totora (*Schoenoplectus californicus*)**

Tesis presentada por la Bachiller:

Lopez Pinazo, Lucia Del Rosario

ORCID: 0009-0008-7791-734X

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

Mg. Ortiz Romero, Derly David

ORCID: 0000-0003-1886-8206

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 30 de Julio del 2025

Dictamen: 012304-C-EPIM-2025

Visto el borrador del expediente 012304, presentado por:

2018223052 - LOPEZ PINAZO LUCIA DEL ROSARIO

Titulado:

**REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN RELAVES MINEROS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE
TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS)**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**40656104 - LOPEZ CASAPERALTA DE DIAZ PATRICIA YANETH
DICTAMINADOR**



**40379481 - PAREDES SALAS OMAR WILLY
DICTAMINADOR**



**71237395 - OJEDA VIZARRETA JORGE ANTONIO
DICTAMINADOR**



Remoción de metales pesados en relaves mineros mediante la aplicación de totora (*Schoenoplectus californicus*)

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

10%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
3	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.iespptrm.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta investigación principalmente a mis padres pues sin ellos no sería quien hoy soy; desde que nací me han apoyado en todo sentido, y me enseñaron todos los valores que debía tener para ser una excelente persona. Dedico esta tesis a mi padre Julio Lopez, por haberme guiado y acompañado desde el cielo durante el desarrollo de toda mi formación profesional, aunque partió de esta tierra en el segundo día de clases de mi primer año, él fue mi motivación, pues le prometí que llegaría a ser profesional; también se la dedico a mi madre Gilda Pinazo por acompañarme y apoyarme siempre, siendo mi más grande ejemplo a seguir, pues siempre me demostró que es una mujer fuerte, quien a pesar de todo lo que vivió salió adelante; ella sabe que sin su apoyo y amor incondicional no hubiese podido terminar, pues cuando no quise continuar con mi carrera me dijo firmemente, que lo que uno empieza debe terminarlo; este consejo me recuerda hoy y siempre que nunca debo rendirme, y que solo con esfuerzo y dedicación puedo lograr alcanzar todo lo que me proponga. Asimismo, se la dedico a mi querida mascota Bela, que llegó a mi vida de manera inesperada, pero en el momento indicado donde más la necesitaba, fue mi compañera y apoyo emocional durante todas mis horas de estudio, y aún sigue acompañándome fielmente. De igual manera se la dedico a mi círculo más cercano de amigos, que considero que más que amigos son mi familia, pues me alentaron siempre, nunca dudaron de mis capacidades, se sintieron muy orgullosos y celebraron cada uno de los logros que obtuve. Y finalmente se la dedico a la Lucia de hace siete años que empezó una nueva etapa en su vida, en una nueva ciudad, sola, pero al mismo tiempo rodeada de personas que la querían mucho, que desde el primer día puso en práctica todo lo que le enseñó su madre, paso momentos duros, pero cada día demostró ser una mujer fuerte y valiente, que llegaría a cumplir todo lo que se propuso, y nunca se rindió. Hoy le digo a ella “Querida Lucia el camino no será fácil, pero al final lo vas a lograr”.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer principalmente a cada uno de los docentes que me enseñó en toda mi formación profesional; durante los cinco años de estudio ellos fueron quienes me enseñaron desde su experiencia todo lo que necesitaba saber para ser el excelente profesional que necesita nuestro país. Agradezco a dos docentes, mujeres comprometidas, que son parte de mi escuela, a la Ing. Patricia Lopez y a la Ing. Azucena Delgado, pues ellas fueron mi primer referente, y me hicieron creer que también puedo triunfar en este sector como lo han hecho ellas, y que solo uno se pone sus propios límites; hoy en día todas sus enseñanzas y consejos las llevo siempre conmigo a donde quiera que vaya. También agradezco a la asociación Women In Mining Perú, pues desde que formo parte de esta, conocí a muchas más mujeres exitosas, que son mi principal motivación para seguir apostando por el sector minero; asimismo a los demás capítulos estudiantiles y asociaciones en los que participe, pues me permitieron conocer a muchos más profesionales de diferentes carreras, abrieron mis horizontes y dejaron que desarrolle mis habilidades. De igual manera agradezco a cada uno de los profesionales que conocí durante las experiencias laborales que tuve, pues ellos confiaron en mí persona y mis capacidades, quienes desde el primer día compartieron conmigo su experiencia para seguir aprendiendo y formándome como profesional, y con el tiempo algunos de ellos se convirtieron en más que compañeros en amigos para la vida. Agradezco a mis padres, a mi familia y amigos, por acompañarme, alentarme y confiar en mí durante estos últimos siete años. Y finalmente agradezco a mi tío Efraín Pinazo quien siempre confió y apostó por mí, y me alentó a seguir trabajando por el buen desarrollo de la minería en nuestro país; el sin duda es mi referente para llegar a ser un profesional que trascienda y marque la diferencia, como él lo fue; y quien ahora me sigue alentando desde el cielo. Hoy puedo decirme “Gracias Lucia por demostrar al final, que puedes con todo lo que te propones”.

RESUMEN

En la actualidad existe una gran problemática para el manejo de los relaves que genera la actividad minera, por lo que es necesario investigar herramientas que permitan una mejor disposición final, y de esta manera reducir el impacto sobre el medio ambiente y la salud.

La presente investigación tiene como objetivo general remover metales pesados en el relave minero mediante la aplicación de la especie de totora *Schoenoplectus californicus*.

La fase experimental de la investigación tuvo una duración de cuatro meses. Se utilizaron cuatro recipientes, cada uno con aproximadamente 8 kg de relave minero aurífero; el cual excedía los parámetros establecidos en la normativa ambiental vigente del MINAM; y en cada uno de estos recipientes se plantó un cepellón de la especie de totora. En total se realizaron 4 estudios al relave minero; el primero, antes del contacto de la planta con el relave minero; el segundo a los 30 días, el tercero a los 60 días y el cuarto a los 120 días, cuando la especie de totora ya había estado en contacto directo. Se tomaron muestras del relave minero en cada recipiente, utilizando el método del cuarteo manual, para luego obtener una muestra representativa, la cual fue analizada mediante la técnica ICP - OES.

Se evaluó la concentración de plomo (Pb), cadmio (Cd) y cobre (Cu). Para cuantificar el porcentaje de remoción mensual que alcanzaron, se comparó el resultado obtenido en cada análisis con el resultado de la muestra inicial. Al cuarto mes de investigación se alcanzó una remoción del 99.99% de cadmio, y del 93.00% de cobre; no obstante, en el caso del plomo la remoción fue mínima, con un valor inferior al 1.00%, dado que se produjo un proceso de desorción. Este cambio se refleja en los resultados, demostrando que *Schoenoplectus californicus*, es efectiva para el tratamiento del relave minero, y puede adaptarse con facilidad en ambientes contaminados.

Palabras clave: *Schoenoplectus californicus*, relave minero, remoción.

ABSTRACT

Currently, there is a great problem in the management of tailings generated by mining activities, so it is necessary to investigate tools that allow a better final disposal, and thus reduce the impact on the environment and health.

The general objective of this research is to remove heavy metals from mining tailings by applying the totora species *Schoenoplectus californicus*.

The experimental phase of the research lasted four months. Four containers were used, each containing approximately 8 kg of gold mining tailings, which exceeded the parameters established in the current environmental regulations of MINAM, a root ball of the totora species was planted in each of these containers. A total of four studies were carried out on the tailings; the first before the plant came into contact with the tailings, the second after 30 days, the third after 60 days, and the fourth after 120 days, when the totora species had already been in direct contact with the tailings. Samples were taken from the mine tailings in each container, using the manual quartering method, to obtain a representative sample, which was analyzed using the ICP - OES technique.

The concentration of lead (Pb), cadmium (Cd), and copper (Cu) was evaluated. To quantify the monthly removal percentage achieved, the result obtained in each analysis was compared with the result of the initial sample. At the fourth month of investigation, a removal of 99.99% of cadmium and 93.00% of copper was achieved; however, in the case of lead, the removal was minimal, with a value of less than 1.00%, since a desorption process took place. This change is reflected in the results, demonstrating that *Schoenoplectus californicus* is effective for the treatment of mine tailings and can easily adapt to contaminated environments.

Key words: *Schoenoplectus californicus*, mine tailings, removal.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I..... 2

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN 3

1.1. Planteamiento del problema 3

1.2. Objetivos de investigación 4

1.2.1. Objetivo general 4

1.2.2. Objetivos específicos..... 4

1.3. Preguntas de investigación 4

1.3.1. Problema general..... 4

1.3.2. Problemas específicos 4

1.4. Línea de investigación..... 4

1.5. Palabras clave..... 4

1.6. Solución propuesta 5

1.6.1. Justificación e importancia..... 5

1.6.2. Descripción de la solución 5

CAPÍTULO II 6

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1.	Estado del arte	7
2.1.1.	Antecedentes internacionales	7
2.1.2.	Antecedentes nacionales	8
2.1.3.	Antecedentes locales	11
2.2.	Bases teóricas de la investigación	13
2.2.1.	Totora	13
2.2.2.	Relaves mineros	14
2.2.3.	Metales pesados.....	15
2.2.4.	Medio ambiente.....	15
2.2.5.	Etapas de explotación y beneficio	16
2.2.6.	Lago Titicaca	17
2.2.7.	Pequeña minería	17
2.3.	Definición de términos	18
2.4.	Hipótesis de investigación.....	20
2.4.1.	Hipótesis general de investigación.....	20
2.5.	Variables.....	20
2.5.1.	Variable independiente	20
2.5.2.	Variable dependiente	20
2.6.	Operacionalización de variables.....	21
CAPÍTULO III		22
3.	MARCO METODOLÓGICO	23

3.1.	Alcance y limitaciones	23
3.1.1.	Alcance.....	23
3.1.2.	Limitaciones	23
3.2.	Tipo y nivel de investigación	23
3.2.1.	Tipo de investigación	23
3.2.2.	Nivel de investigación.....	23
3.2.3.	Diseño de investigación	24
3.3.	Población y muestra	25
3.3.1.	Población.....	25
3.3.2.	Muestra.....	25
3.4.	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	25
3.4.1.	Plan de desarrollo de la investigación.....	25
3.5.	Metales pesados en el relave minero.....	27
3.5.1.	Método del cuarteo para la obtención de la muestra inicial.....	27
3.5.2.	Procesamiento en laboratorio de la muestra inicial.....	28
3.6.	Aplicación de <i>Schoenoplectus californicus</i>	29
3.6.1.	Parámetros para la elección de <i>Schoenoplectus californicus</i>	29
3.6.2.	Recolección de <i>Schoenoplectus californicus</i>	31
3.6.3.	Certificación de la especie de totora <i>Schoenoplectus californicus</i>	32
3.6.4.	Diseño del esquema experimental para la plantación	33
3.6.5.	Plantación de <i>Schoenoplectus californicus</i> en el relave minero	34
3.6.6.	Desarrollo de <i>Schoenoplectus californicus</i> en el relave minero	35

3.6.7. Obtención de las muestras para el análisis en laboratorio.....	39
CAPÍTULO IV.....	40
4. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	41
4.1. Parámetros para la obtención de las muestras en estudio.....	41
4.2. Resultado de la muestra inicial de relave minero.....	42
4.3. Resultado de las muestras tomadas durante la investigación.....	43
4.3.1. Primer resultado en el mes de noviembre.....	43
4.3.2. Segundo resultado en el mes de diciembre.....	44
4.3.3. Tercer resultado en el mes de enero.....	44
4.3.4. Cuarto resultado en el mes de marzo.....	45
4.3.5. Comparación de los cuatro meses de estudio.....	45
4.4. Análisis e interpretación de los resultados de la muestras de relave minero.....	47
4.4.1. Comparación de los resultados con el primer mes de estudio.....	47
4.4.2. Comparación de resultados con el segundo mes de estudio.....	49
4.4.3. Comparación de resultados con el cuarto mes de estudio.....	51
4.5. Comportamiento de los metales pesados a lo largo del tiempo.....	53
CONCLUSIONES.....	57
RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS.....	59
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de variables	21
Tabla 2 Resultado de la muestra inicial de relave minero de oro	42
Tabla 3 Resultado de la primera muestra de estudio.....	43
Tabla 4 Resultado de la segunda muestra de estudio	44
Tabla 5 Resultado de la tercera muestra de estudio	44
Tabla 6 Resultado de la cuarta muestra de estudio	45
Tabla 7 Resumen de resultados de las muestras en estudio	45
Tabla 8 Cuadro comparativo del resultado inicial y luego de un mes	47
Tabla 9 Cuadro comparativo del resultado inicial y luego de dos meses	49
Tabla 10 Cuadro comparativo del resultado inicial y luego de cuatro meses	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plantación de totora	14
Figura 2 Relave minero	15
Figura 3 Ciclo minero	17
Figura 4 Pequeña minería.....	18
Figura 5 Esquema del diseño de investigación	24
Figura 6 Representación gráfica del desarrollo de <i>Schoenoplectus californicus</i>	30
Figura 7 Zona para la recolección de las muestras de totora en el lago Titicaca	31
Figura 8 Recolección de muestras de totora en el lago Titicaca	32
Figura 9 Ejemplar de totora compartido con el herbario de la UNAP.....	33
Figura 10 Diseño para la plantación de <i>Schoenoplectus californicus</i> en el relave minero	34
Figura 11 Plantación de <i>Schoenoplectus californicus</i>	35
Figura 12 Desarrollo de <i>Schoenoplectus californicus</i> al mes de estudio	36
Figura 13 Desarrollo de <i>Schoenoplectus californicus</i> a los dos meses de estudio.....	37
Figura 14 Desarrollo de <i>Schoenoplectus californicus</i> a los cuatro meses de estudio	37
Figura 15 Gráfico del comportamiento de las muestras en estudio con el paso de los meses .	46
Figura 16 Gráfico comparativo entre el resultado inicial y luego de un mes.....	48
Figura 17 Gráfico comparativo entre el resultado inicial y luego de dos meses.....	50
Figura 18 Gráfico comparativo entre el resultado inicial y luego de cuatro meses	52
Figura 19 Comportamiento del plomo a lo largo del tiempo.	54
Figura 20 Comportamiento del cadmio a lo largo del tiempo.....	55
Figura 21 Comportamiento del cobre a lo largo del tiempo	56

INTRODUCCIÓN

La actividad minera en nuestro país es un pilar fundamental para nuestra economía, pues representa alrededor del 10% del PBI y el 60% del valor total de exportaciones, entre otros puntos de impacto que benefician a la población peruana (Perú21, 2024). En nuestro país se desarrollan diferentes tipos de minería desde pequeña hasta gran minería, ejecutando sus operaciones diariamente, por lo que se genera grandes cantidades de relave minero (Ipenza 2012). En muchos casos no se manipulan correctamente ni tienen una buena disposición final, por lo que existe una alta probabilidad de provocar graves problemas, que afectaría al medio ambiente y la salud de las personas (Menéndez & Muñoz, 2021).

Ante esta problemática, es necesario encontrar soluciones efectivas que minimicen posibles impactos ambientales y mejoren el entorno natural. Esta investigación estudia la aplicación de totora en depósitos de relave minero, para disminuir la concentración de metales pesados en su composición; con el fin de que pueda ser utilizado como una herramienta clave para mejorar la disposición final de los desechos que provienen de la minería.

El problema general de la investigación se centra en la remoción de metales pesados mediante la aplicación de la totora como agente biorremediador, realizando la pregunta, ¿Cómo remover metales pesados en relaves mineros mediante la aplicación de *Schoenoplectus californicus*? Siendo su respuesta el desarrollo de la parte experimental de esta investigación, en la que se demuestra que, si es posible remover cierto porcentaje de metales pesados en el relave minero aurífero, mediante la aplicación de esta especie de totora.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad todas las unidades mineras en producción de pequeña, mediana o gran escala cuentan con un depósito de relave, donde se acumula el subproducto que se obtiene de la etapa de beneficio. Este material acumulado consiste en un lodo líquido que está compuesto por agua junto con partículas finas de metales y minerales. (ICMM, 2020). Su composición es variada pues depende de las características del mineral y los procesos metalúrgicos a los que fue sometido; generalmente contienen materiales no recuperados y reactivos utilizados durante el proceso (Espín et al., 2017).

Es por su composición que los relaves mineros son considerados altamente tóxicos y peligrosos para el medio ambiente; y un mal manejo durante su gestión, puede llegar a contaminar principalmente el agua, suelo, aire y la salud de las personas. (Menéndez & Muñoz, 2021).

Un ejemplo es el relave minero de oro que contiene altas concentraciones de metales pesados, tales como arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb), y zinc (Zn) (Salas, 2009). Por lo que es necesario promover el uso de técnicas alternativas para su tratamiento; y que de esta manera sean menos peligrosos para el medio ambiente, y pueda optimizarse su disposición final.

En razón a lo anterior la aplicación de *Schoenoplectus californicus* se presenta como una propuesta para el tratamiento del relave minero, debido a que esta planta tiene antecedentes de que puede acumular metales pesados en sus raíces y en el tallo. (Miranda, 2019). Siendo necesario estudiar su eficiencia para ser utilizado.

1.2. Objetivos de investigación

1.2.1. Objetivo general

Remover metales pesados en relaves mineros, mediante la aplicación de *Schoenoplectus californicus*.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los metales pesados presentes en el relave minero de oro.
- Aplicar *Schoenoplectus californicus* en la remoción de metales pesados en el relave minero de oro.
- Cuantificar la remoción de los metales pesados del relave minero de oro.

1.3. Preguntas de investigación

1.3.1. Problema general

¿Cómo remover metales pesados en relaves mineros, mediante la aplicación de *Schoenoplectus californicus*?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Qué metales pesados están presentes en el relave minero de oro?
- ¿Puede aplicarse *Schoenoplectus californicus* en la remoción de metales pesados en el relave minero de oro?
- ¿Cuál será la cantidad de remoción de los metales pesados en el relave minero de oro?

1.4. Línea de investigación

Las líneas de investigación de la presente tesis son Biorremediación, junto con Minería y Medio Ambiente.

1.5. Palabras clave

Schoenoplectus californicus, totora, relave minero, metales pesados, medio ambiente, remoción, mining tailings, heavy metals, environment, removal.

1.6. Solución propuesta

1.6.1. Justificación e importancia

La presente investigación de tesis se justifica de manera práctica, porque se aplicará la especie de totora *Schoenoplectus californicus*, como herramienta alternativa para tratar relave minero de oro, a fin de disminuir los niveles de concentración de los metales pesados que contiene; debido a que en la actualidad los relaves mineros son considerados altamente peligrosos para el medio ambiente y la salud, por lo que se está en la búsqueda de alternativas, que contribuyan a mejorar su disposición final.

Con la investigación podremos evidenciar la factibilidad de aplicación que tiene *Schoenoplectus californicus* en el relave minero, para remover los metales pesados. Cuantificando el resultado en un porcentaje de disminución, por cada metal pesado que contiene, hasta acercarlo a valores aceptables en los límites máximos permisibles y estándares de calidad ambiental del suelo.

1.6.2. Descripción de la solución

Para la investigación se utilizó *Schoenoplectus californicus* como herramienta principal para ser aplicada en el relave minero de oro. La investigación se llevó a cabo a pequeña escala en mi domicilio, utilizando recipientes que contenían el relave minero de oro, en los que se plantó la especie de totora. Inicialmente se priorizo que la totora este estable y se adapte al nuevo medio de vida, por un periodo de cinco días en promedio; pasado ese tiempo se realizaron análisis de laboratorio de manera mensual, para medir el resultado de remoción de los principales metales pesados que contenía; demostrando que es una técnica eficiente para tratar el relave minero.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Estado del arte

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Blanco (2019), en su artículo “Suitability of totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) for Its Use in Constructed Wetlands in Areas Polluted with Heavy Metals”. Tuvo como objetivo comprobar la acumulación de metales pesados con el uso de la totora en humedales artificiales que contenía agua contaminada por metales pesados del lago Uru - Uru. En la investigación se recolectaron las plantas de mencionado lago, y se expusieron a los efluentes contaminados; como resultado se obtuvo que la totora tiene una alta capacidad para soportar altas concentraciones de metales pesados, en este caso niveles superiores a los 1000 mg/kg de arsénico hierro y níquel, recomendando el uso de totora en sitios que contengan metales pesados.

Según Sarret et al. (2019), en su artículo “Extreme arsenic bioaccumulation factor variability in lake Titicaca, Bolivia”. Tuvo como objetivo evidenciar que en diferentes lugares del mundo se presentan problemas por encontrar elevados niveles de arsénico tanto en las aguas superficiales como subterráneas, que atentan contra la salud de los seres vivos. En esta investigación se tuvo como estudió al lago Titicaca y Uru – Uru, resaltando que se midió la concentración de arsénico en la totora que se encontraba en el lugar, obteniendo como resultado acumulación de dicho metal pesado en el tallo con valores entre 5 - 15 y 78 $\mu\text{g/L}$ respectivamente, reportando que la totora actúa como agente bioacumulador de metales pesados.

Según Harguinteguy et al. (2023), es su artículo “Capacidad de *Schoenoplectus californicus* para eliminar y tolerar cobre, plomo y zinc en sistemas de humedales construidos mediante simulación de aguas residuales”. Tuvo como objetivo el evaluar la capacidad de *Schoenoplectus californicus*, para acumular metales como cobre, plomo y zinc, teniendo como resultado una remoción del 90.00% de Pb y Zn, y de mayor al 80.00% para el Cu.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según Chagua y Tardío (2015), desarrollaron su estudio en “Evaluación de remoción de cobre y zinc por la planta nativa *Scirpus californicus* (totora) en la comunidad de Pomachaca - Tarma”. Tuvo como objetivo evaluar el tiempo de contacto con la capacidad de remoción de cobre y zinc utilizando totora en dicha comunidad. La investigación se realizó durante 15 días, y cada 3 días se realizó el análisis de las muestras. En la primera etapa se analizó la muestra de agua obteniendo como resultado la presencia de cobre con un valor de 0.012 mg/L y 0.023 mg/L para el zinc; en la segunda etapa realizó un análisis físico químico, y en la tercera etapa se evaluó la capacidad de remoción a distintos tiempos de contacto, obteniendo como resultado una remoción entre 5 - 0.93 mg/L para el cobre y entre 5 - 2.13 mg/L para el zinc; indicando que la totora tiene capacidad de remover metales pesados y guardarlos en su estructura.

Según De La Peña (2015), desarrollo su estudio en “Evaluación de la capacidad de bioacumulación de hierro (Fe) en la *Scirpus californicus* (totora) en humedales artificiales para el tratamiento del agua del lago Chinchaycocha Junín”. Tuvo por objetivo evaluar la bioacumulación de hierro con ayuda de la totora, de las aguas contaminadas de mencionado lago. Evaluó la bioacumulación de hierro por la totora, la investigación se dividió en cuatro periodos de tiempo 5, 10, 15 y 20 días.

Resaltando que a los 15 días se presenta la mayor cantidad de retención con valores entre 0.81 - 1.36 mg/L de hierro, pasado ese periodo la retención es constante, demostrando que la totora tiene la capacidad de bioacumular metales pesados.

Según Asto (2018), desarrollaron su estudio en “Influencia de la putacca y totora para la fitoestabilización en los depósitos de relaves mineros en la Compañía Minera Tambo del Condor S.R.L - Ayacucho 2017”. Tuvo por objetivo determinar la influencia de ambas especies para fitoestabilizar el depósito de relaves mineros de mencionada compañía. Durante la investigación se utilizó tanto putacca como totora, resaltando que la totora absorbió significativamente plomo en sus raíces, inicialmente se obtuvo como resultado 0.0044 mg/L de plomo, pasado quince días el resultado fue de 0.1907 mg/L, y al mes el resultado fue 0.2816 mg/L, Comprobando que la totora favorece a la fitoestabilización de los depósitos de relaves mineros.

Según Quintana (2019), desarrollaron su estudio en “Actividad fitorremediadora de la totora (*Schoenoplectus californicus*) en agua contaminada por arsénico en los pozos del caserío Tranca Fanupe - Mórrope”. Tuvo como objetivo poder determinar la capacidad fitorremediadora de la totora en aguas que están contaminadas por arsénico en los pozos ya mencionados. Primero realizaron pruebas de control a las aguas del pozo, y como resultado se evidencio la presencia de arsénico con un valor de 0.1 mg/L, luego aplicaron la totora en tres tratamientos y repeticiones distintas, con 27, 37 y 47 plantas respectivamente, obteniendo como resultado luego de haber pasado 20 días una remoción de arsénico del 95.00%, 85.00% y 80.00% en el orden de cada tratamiento; evidenciando que la totora si tiene capacidad fitorremediadora.

Según Ponce y Quispe (2019), desarrollaron el estudio “Remoción de zinc de los efluentes de la minería informal de la quebrada Sacalla empleando plantas hidrófitas *Schoenoplectus californicus* y *Eichhornia crassipes*”. Tuvieron por objetivo evaluar cómo afecta la cantidad de plantas en la remoción de zinc de los vertidos de la minería informal en mencionada quebrada. En la investigación se realizó cinco tratamientos distintos, con cantidades diferentes de plantas por especie; inicialmente la concentración de los vertidos tuvo un resultado de 11.28 mg/L de zinc, se utilizó 20 L de vertidos en cada tratamiento, destacando el primer tratamiento donde se utilizó 50 plantas de totora obteniendo como resultado una remoción del 18.15 % a los 8 días y del 71.39% a los 16 días; confirmando su capacidad de remoción.

Según Araujo y Castro (2021), desarrollaron su estudio en “*Schoenoplectus californicus* (totora) como biorremediador para mitigación del arsénico y plomo en aguas del río Opamayo, Rumichaca - Huancavelica - 2021”. Tuvieron como objetivo el uso de la totora como agente biorremediador para mitigar el arsénico y plomo de las aguas de mencionado río. Para la investigación se utilizaron 50 plantas con un diseño al azar distribuidas en diferentes cantidades para cada tratamiento, asimismo se construyeron tres biofiltros donde se encontraba sembrada la totora en la parte inferior, recolectando el agua del río en estudio a través de estos biofiltros. Inicialmente se determinó que el agua contenía 2.78 mg/L de plomo y 1.32 mg/L de arsénico, y luego de pasar por los biofiltros se obtuvo como resultado que el mejor tratamiento fue el que contuvo 20 plantas, dando como resultados una absorción del 90.65% en plomo y de 99.24 % de arsénico, demostrando la eficiencia de la totora como biorremediador de metales pesados.

Según Sucari (2022), desarrollo su estudio en “Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando *Scirpus californicus* (tatora) y *Festuca dolichophylla* (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín”. Tuvo por objetivo evaluar la eficiencia de aplicar la especie de tatora *Scirpus californicus* y la especie de ichu *Festuca dolichophylla*, en efluentes mineros con el uso de humedales artificiales con dichas especies. Se analizaron muestras de agua tomadas de un efluente minero, para determinar el contenido de hierro, cobre, zinc, arsénico, cadmio y plomo; y también del agua proveniente de los humedales artificiales luego de la aplicación de las especies. Determinado que las aguas del efluente minero están por encima de los límites máximos permisibles, y que luego de aplicar las especies en los humedales artificiales, se obtuvieron concentraciones bajas para cada metal pesado, que son aceptables.

2.1.3. Antecedentes locales

Según Diaz y Peralta (2017), desarrollaron su estudio en “Estudio comparativo de la capacidad de acumulación para cadmio y plomo de *Scirpus californicus* (tatora) y *Stipa ichu* (ichu) bajo condiciones hidropónicas”, Tuvieron como objetivo general realizar un estudio comparativo de la capacidad de acumulación de cadmio y plomo, en *Scirpus californicus* (tatora) y *Stipa ichu* (ichu), bajo condiciones hidropónicas. La metodología que aplicaron fue de acuerdo con el centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral de la Universidad Agraria de la Molina, obtuvieron el mejor resultado para el plomo, con 20 mg/L, siendo buena la retención en la tatora, mientras que en el ichu los niveles fueron bajos.

Según Miranda (2019), desarrollo su estudio en “Evaluación de la capacidad fitorremediadora *Schoenoplectus californicus* (totora) para remoción de arsénico y boro mediante de flujo horizontal in vitro”. Tuvo como objetivo evaluar la capacidad de humedales fitorremediación de la totora para remover arsénico y boro utilizando humedales. Dividió la investigación en una fase de adaptación por dos semanas y una fase de tratamiento por dos meses. Inicialmente se obtuvo valores de arsénico entre 0.8 - 0.4 mg/L y para el boro entre 25 - 15 mg/L. Pasado este periodo de tiempo el resultado fue positivo con una sobrevivencia del 98.00% y 93.00% para cada uno, con una capacidad de remoción del 64.00% para el arsénico y 61% para el boro; confirmando que la totora tiene capacidad fitorremediadora, pues para el arsénico la planta es fitoestabilizadora concentrándose en la raíz y para el boro es fitoextractora concentrándose en el tallo.

Según Biamonte (2024), desarrollaron su estudio en “Evaluación de la eficiencia de remoción de metales con un sistema de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora) en los efluentes mineros en Ananea”, tuvo como objetivo general evaluar la eficiencia de remoción de metales pesados como el cobre, cobalto y cromo, de los efluentes mineros del distrito de Ananea; mediante un sistema piloto de humedales artificiales empleando *Schoenoplectus californicus* (totora). La metodología que uso fue de enfoque cuantitativo de diseño descriptivo, de tipo analítico y observacional, llegando a la conclusión que el sistema de humedales artificial empleando *Schoenoplectus californicus*, es eficiente para la remoción de metales pesados en efluentes de minería, en el distrito de Ananea.

2.2. Bases teóricas de la investigación

2.2.1. Totora

La totora es una planta acuática que crece de manera silvestre en humedales, pantanos, lagunas, lagos y en el mar (desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm); tiene por nombre científico *Schoenoplectus californicus*, y se utiliza principalmente para la alimentación de personas y animales, como abono para el cultivo de plantas, como material de construcción para viviendas, embarcaciones e islas flotantes, como base para fabricar artesanías, juguetes y papel. (Zambrana et al., 2016); asimismo tiene una alta capacidad para el tratamiento de aguas contaminadas que por ejemplo puedan contener metales pesados, pues acumula en su interior estos componentes (raíces y tallo).

Al sur de nuestro país es común encontrar diferentes especies de totora, debido a que se presentan grandes extensiones de lagos y humedales; siendo Puno una de las regiones donde podemos encontrar una de las especies principales de totora *Schoenoplectus californicus*.

Esta es una especie acuática perenne, con tipo de tallo trígono y fasciculada, con presencia de flores en el extremo superior; puede llegar a alcanzar hasta 3 m de altura, la mitad de la planta suele encontrarse sumergida bajo el agua, por lo que requiere estar de manera continua en el agua para crecer adecuadamente, además de tener acceso directo a los rayos del sol. (Folch & Armanet, 2023).

Suele formar matorrales densos que sirven de refugio para la fauna silvestre, de igual manera tiene la capacidad de filtrar el agua para purificarla, mejorar el proceso de separación de partículas, asimilar nutrientes y metales con los que tiene contacto, para incorporarlos al tejido vegetal. (Folch & Armanet, 2023).

Figura 1

Plantación de totora



Nota. Tomado de Marcos (2009).

2.2.2. Relaves mineros

El relave minero es un material que se obtiene del proceso metalúrgico de los minerales, contiene principalmente roca triturada, metales no rentables ni recuperables, y sustancias químicas utilizadas durante el proceso de obtención del metal de interés económico. Este material es almacenado en depósitos de relave, que son estructuras que están diseñadas y gestionadas acorde a las necesidades de la operación minera. (BHP, 2024).

Es importante resaltar que los relaves mineros en nuestro país están bajo el reglamento de la Ley N.º 31211, que dispone que este material debe tener un adecuado transporte y disposición final; se deberá contar con altos estándares en los mecanismos de protección para que el relave no entre en contacto con el suelo, asimismo deberá considerar medidas de prevención y control en los depósitos de relaves, evitando filtraciones y realizando un mantenimiento constante a la infraestructura, priorizando su estabilidad física y química. (Freire & Paniagua, 2023).

Figura 2*Relave minero*

Nota. Tomado de Petroenergía (2021).

2.2.3. Metales pesados

Los metales pesados son elementos químicos que están agrupados por su alta densidad, se puede resaltar el mercurio (Hg), níquel (Ni), cobre (Cu), plomo (Pb) y cromo (Cr) (Facsa, 2017). Generalmente son muy tóxicos para los seres vivos y el medio ambiente, su peligrosidad radica en que no se pueden degradar ni de manera química o biológica, con una alta tendencia a bioacumularse, repercutiendo en la estabilidad y la salud de los seres vivos, ya que puede alcanzar concentraciones muy altas que tienden a incrementar al paso de la cadena trófica, provocando efectos nocivos. (MITECO, 2024).

2.2.4. Medio ambiente

El medio ambiente es considerado el espacio donde se desarrolla la vida de los elementos bióticos, abióticos y artificiales que la conforman; siendo la ecología la rama especializada en estudiar la interacción de los seres vivos con el medio, resaltando la importancia de los ecosistemas para garantizar su sostenibilidad. (BBVA, 2023).

Por lo que todos los organismos que componen el medio ambiente son considerados necesarios para garantizar la supervivencia del medio y mantener el equilibrio que conocemos actualmente (BBVA, 2023).

Siendo necesario una concientización mundial del uso adecuado de nuestro entorno, promoviendo el mantenimiento de los elementos que componen el medio ambiente para las futuras generaciones, garantizando un mundo sostenible, que trabaje por el mantenimiento y conservación de los ecosistemas. (BBVA, 2023).

2.2.5. Etapas de explotación y beneficio

La actividad minera tiene diferentes etapas para su desarrollo, entre las principales tenemos la etapa de explotación y la de beneficio.

La etapa de explotación consiste en extraer los minerales que contiene un yacimiento, ya sea de manera superficial o subterránea, siendo común entre ambos métodos realizar las etapas de perforación, voladura, carguío y acarreo para su extracción (MINEM, 2011).

La etapa de beneficio consiste en extraer la parte valiosa del mineral, es decir el metal de interés económico, primero con el uso de métodos como la flotación o lixiviación, que dependerá del tipo de mineral ya sean sulfuros o óxidos respectivamente, luego pasaran por una etapa de fundición o refinación, mediante procesos físicos, químicos y de ambos tipos. El objetivo principal de esta etapa es someter al mineral a un proceso metalúrgico de concentración para incrementar su ley, para luego mediante la fundición eliminar sus impurezas y poder refinarlo para su posterior comercialización. (MINEM, 2011).

Figura 3

Ciclo minero



Nota. Tomado de Lopez (2020).

2.2.6. Lago Titicaca

El lago Titicaca está ubicado en la parte central y sur de la meseta del Collao en el Altiplano de Perú y Bolivia. Tiene su origen en la transición de los Andes en el sur del Perú. El lago se alimenta de las precipitaciones que caen en gran parte de Perú y fluyen desde los Andes en forma de arroyos. El cuerpo de agua cubre un área de aproximadamente 8,380 km², de los cuales aproximadamente 4,966 km² pertenecen al Perú. Los principales ríos que desembocan en el lago son el río Huancané, Ramis, Coata Ilave y Suches, Zapatilla y Callacame, ríos de corto recorrido y flujo torrentosos desde sus nacientes. (SENAMHI, 2007)

2.2.7. Pequeña minería

La pequeña minería es un tipo de actividad minera que también ejecuta el ciclo minero pero a pequeña escala, esta actividad genera una fuente importante de empleo en comunidades en el Perú; sin embargo, también provoca un alto impacto al medio ambiente por el mal manejo de los desechos que genera como lo son el relave. (Ipenza, 2012).

Así mismo la clave para promover mejores prácticas en esta actividad es la formalización que regulan con normas legales que promueven el cumplimiento de buenas prácticas al medio ambiente (Ipenza 2012).

Figura 4

Pequeña minería



Nota. Tomado de Revista Desde Adentro (2021).

2.3. Definición de términos

▪ Seres vivos

Los seres vivos son considerados organismos complejos formados por células que nacen, se nutren, crecen, se relacionan, se reproducen y mueren; como por ejemplo los humanos, animales y plantas (Seguí, 2023).

▪ Aspecto ambiental

Todo aquel elemento que se obtenga de las actividades, productos y/o servicios que realice cualquier entidad, y tenga algún tipo de interacción con el medio ambiente (Orellana & González, 2020).

- **Impacto Ambiental**

Toda aquella alteración de la calidad del medio ambiente, producto del resultado de los aspectos ambientales de cualquier entidad (Orellana & González, 2020).

- **Peligro**

El peligro es el acto, fuente o situación que puede ocasionar daño, siendo inherente e identificable (UNIR, 2023).

- **Riesgo**

El riesgo es la probabilidad de que un peligro ocurra y tenga consecuencias graves, este se escoge y se evalúa (UNIR, 2023).

- **Tóxico**

Tóxico es todo agente químico o reactivo que, tras entrar en contacto con los seres vivos y el medio ambiente, produce un efecto adverso que daña a los mismos (Guitarta & Giménez, 2011).

- **Límite máximo permisible**

El límite máximo permisible (LMP) es considerado la medida de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas que provienen de una emisión, que al ser excedida causa daños a la salud y el bienestar, de los seres vivos y el medio ambiente. Para el sector minero el LMP se rige bajo la Resolución Ministerial N.º 315-96-EM-VMM. (MINAM, 2011).

- **Estándar de Calidad Ambiental**

Los estándares de calidad ambiental (ECA) son los valores máximos permitidos de algún contaminante en el ambiente. Estos son establecidos por el MINAM, con el objetivo de garantizar la calidad del ambiente mediante instrumentos de gestión y evaluación. Para los suelos los ECA se rigen bajo el Decreto Supremo N.º 002-2013-MINAM. (MINAM, 2013).

- **Cepellón**

Masa de tierra adherida a la raíz de la planta, con la que se trasplanta esta (BBVA, 2025).

- **Remoción**

El término remoción en suelos contaminados hace referencia a un proceso en que se trata de reducir con ayuda de un agente externo los niveles de contaminación que contenga, hasta alcanzar un nivel aceptable para la salud y el medio ambiente. (Caviedes et al., 2016).

- **Concentración**

La concentración permite expresar la cantidad de un compuesto por unidad de volumen, que está presente en un medio (Quimica.es, 2025).

- **Desorción**

La desorción en las plantas es un proceso por el que las moléculas o iones que son adsorbidos por la estructura de la planta son liberados por algunas condiciones atípicas a las que está expuesta (Aditya et al., 2024).

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general de investigación

La aplicación de *Schoenoplectus californicus* permite la remoción de metales pesados en relaves mineros.

2.5. Variables

2.5.1. Variable independiente

Aplicación de *Schoenoplectus californicus*.

2.5.2. Variable dependiente

Concentración de metales pesados.

2.6. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicador	Instrumento
Aplicación de <i>Schoenoplectus californicus</i> .	Es una técnica que permite remover metales pesados mediante la aplicación de esta especie.	Especie de totora.	Nombre científico.	Certificación de la especie de totora.
		Aplicación de la especie de totora.	Distribución de las plantaciones en el relave.	
		Duración de la aplicación de la especie de totora en el relave minero.	Tiempo de aplicación.	
Concentración de metales pesados.	Es la cantidad por unidad de volumen de cada metal pesado.	Tipos de metales pesados contenidos.	Identificación de cada metal pesado.	Resultados de laboratorio.
		Concentración de cada metal pesado.	Porcentaje de presencia de cada metal pesado.	

Nota. En la tabla se resume la estructura de operacionalización de las variables planteadas para la investigación.



CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcance y limitaciones

3.1.1. Alcance

La presente investigación se centró en aplicar *Schoenoplectus californicus* para remover los metales pesados que contiene el relave minero de oro, que se obtuvo de una pequeña mina de la zona sur del país; para permitir que esta se establezca y pueda tener una mejor gestión ambiental posteriormente. La investigación se desarrolló entre los meses de noviembre de 2024 y marzo de 2025.

3.1.2. Limitaciones

Las principales limitaciones de la presente investigación radican en preservar la estabilidad de la totora en el relave, ya que este debía adaptarse y desarrollarse en el nuevo medio de vida. Asimismo, el financiamiento para las pruebas en laboratorio, pues estas fueron costosas y se realizaron de manera mensual; pues el objetivo era hacer un seguimiento continuo, para determinar el porcentaje de remoción de los principales metales pesados en el relave minero de oro.

3.2. Tipo y nivel de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

En razón con Tamayo y Tamayo (2003), la metodología empleada en esta investigación es de tipo aplicada. Este tipo de investigación es conocida como dinámica; ya que depende de la investigación para confrontar la realidad con base en aportes teóricos.

3.2.2. Nivel de investigación

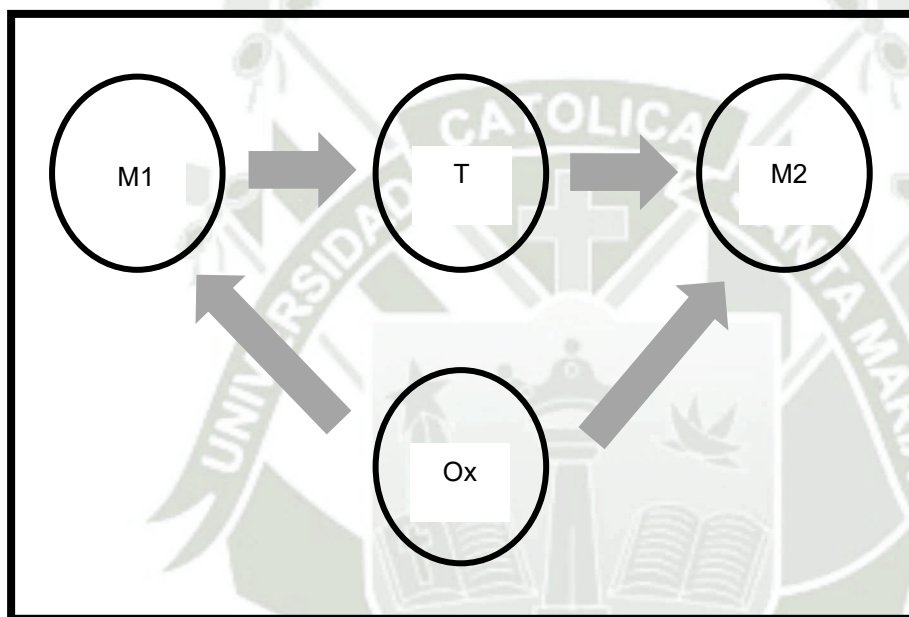
En razón con Arias (2006), la investigación es de nivel explicativo. Este tipo de investigación da a conocer el porqué de lo ocurrido, a través de la relación causa y efecto.

3.2.3. Diseño de investigación

En razón con Arias (2006), el diseño de la investigación es experimental. Este tipo de investigación consiste en la aplicación de cierto procedimiento al objeto, para observar sus efectos.

Figura 5

Esquema del diseño de investigación



Nota. En la figura se sintetiza mediante un esquema, el diseño desarrollado en la investigación.

Donde:

- M1 : Muestra de relave minero de oro antes de la aplicación de *Schoenoplectus californicus*.
- T : Aplicación de *Schoenoplectus californicus*.
- M2 : Muestra de relave minero de oro después de la aplicación de *Schoenoplectus californicus*.
- Ox : Observación de los resultados antes y después de la aplicación de *Schoenoplectus californicus*.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

El relave minero que se obtuvo de la pequeña minería, de la zona sur del país.

3.3.2. Muestra

La muestra fue no probabilística de acuerdo con la disponibilidad y conveniencia. Se tomaron 32 kg de relave minero de oro.

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos durante la investigación se utilizó una metodología documental y analítica, y una técnica de observación. El instrumento fueron los resultados de laboratorio, obtenidos con la técnica ICP - OES sobre el relave minero de oro. Este análisis se realizó en el 'laboratorio de ensayo y control de calidad' de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, que cuenta con el modelo de equipo Optima 8000 de la marca PerkinElmer, para realizar este tipo de análisis.

Para la técnica de observación se utilizó como instrumento una guía de seguimiento, elaborada por mi persona, donde se registraron los principales detalles del desarrollo de la plantación de totora en el relave minero de oro, en cada mes de estudio.

3.4.1. Plan de desarrollo de la investigación

- Se solicitó a una relavera de una pequeña mina al sur del país, una muestra de alrededor de 32 kg de relave minero de oro; esta fue la cantidad que se estimó como conveniente para realizar esta investigación.
- Se utilizó el método del cuarteo para obtener una muestra inicial, la cual se llevó al 'laboratorio de ensayo y control de calidad' de la UCSM, para determinar los metales pesados que contenía y delimitar sus concentraciones.

- Se recolecto las muestras de totora en el lago Titicaca; y se llevó un ejemplar al ‘laboratorio de botánica’ de la UNA. Para certificar que la especie a utilizar era la propuesta en la investigación.
- Se separo la muestra de 32 kg de relave minero en 4 recipientes de 8 kg cada uno, que fueron receptores de un cepellón de totora de aproximadamente 3 kg.
- Se utilizo el método de cuarteo para obtener una muestra de seguimiento de forma mensual, de los recipientes en estudio, para su posterior análisis en el ‘laboratorio de ensayo y control de calidad’ de la UCSM; esto luego de esperar cinco días a que la planta se adapte correctamente al nuevo medio de vida.
- A través de la guía de observación se dio seguimiento al desarrollo de las plantaciones una vez al mes.
- Al término del cuarto muestreo, los datos se procesaron en el programa Microsoft Excel, versión 2504 de Office 365; para comparar los resultados de la concentración de los metales pesados que se obtuvieron durante la investigación, con la muestra base.
- Finalmente, al término de la investigación se llevarán las plantas y el relave minero utilizado, a la relavera de la mina de donde fue extraído, para una disposición adecuada.

3.5. Metales pesados en el relave minero

3.5.1. Método del cuarteo para la obtención de la muestra inicial

Durante el desarrollo de la investigación, se utilizó el método del cuarteo de suelos. Esta es una técnica que consiste en dividir reiteradamente una muestra en cuatro partes para luego repetir el procedimiento hasta obtener una muestra representativa. Con este método se obtuvo la muestra inicial de relave minero de oro, que se llevó al ‘laboratorio de ensayo y control de calidad’ de la Universidad Católica de Santa María, para analizarlo. Este método fue eficaz para conseguir una muestra representativa del total del material, su proceso implicó el secado, mezcla y separación del relave minero. El proceso que se desarrolló se puede observar en el anexo 16.

A continuación, se describe el procedimiento utilizado:

- Luego de obtener dos sacos de muestra de relave de una pequeña mina de la zona del sur del país, esta se conservó en dos recipientes con tapa para evitar que entre en contacto con el medio ambiente; y para dar inicio al procedimiento del cuarteo manual se designó un área en específica, la cual estaba protegida por un plástico y contenía todos los instrumentos necesarios para su ejecución, asimismo se utilizó los EPP correspondientes para nuestra protección durante la manipulación del relave minero.
- Primero se procedió a colocar el contenido de ambos sacos en un recipiente más amplio que estaba limpio, donde se mezcló el material uniformemente con el uso de una pala.
- Segundo se procedió a pesar el relave para tener conocimiento de la cantidad de material con el que se contaba, para lo cual se pesó parte por parte todo el relave hasta alcanzar el total, dando como resultado 32 kg.
- Tercero una vez mezclado y pesado el relave minero se procedió a colocar el total de la muestra en forma de un cono, sobre el área que delimitamos con el plástico, la cual era una superficie plana y limpia.

- Cuarto se aplanó de manera cuidadosa la pila cónica de material, hasta alcanzar una superficie uniforme similar a un círculo, tratando de que sea de un mismo espesor.
- Quinto se dividió esta nueva superficie con ayuda de la pala en cuatro secciones iguales, para luego retirar el total del material de cualquiera de las dos secciones que estén de manera diagonal.
- Sexto una vez retirado el material nos quedó dos secciones en diagonal las cuales fueron mezcladas. Se repitió el procedimiento descrito hasta obtener la cantidad de muestra representativa deseada; cabe resaltar que al repetir el paso cinco se variaba en la selección de los extremos diagonales opuestos entre una operación y otra.
- Séptimo se repitió esta operación ocho veces hasta obtener una muestra representativa de 50 g aproximadamente, la cual fue esparcida en un recipiente para que seque en su totalidad, y luego se llevó al laboratorio de la Universidad Católica de Santa María, donde se realizó su primer análisis.

3.5.2. Procesamiento en laboratorio de la muestra inicial

La muestra representativa de 50 g que se obtuvo luego de desarrollar el método de cuarteo se llevó al ‘laboratorio de ensayo y control de calidad’ de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, donde se realizó el análisis con la técnica de ‘Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente’ (ICP - OES), conforme al método EPA METHOD 200.2 Revisión 4.4; utilizando el modelo de equipo Optima 8000, de la marca PerkinElmer.

Esta técnica permite determinar y cuantificar todos los metales que contiene una muestra que puede estar líquida o sólida, de cualquier industria (Qualiatest, 2024).

En la prueba se utiliza un plasma inductivamente acoplado, que es en realidad un gas ionizado a temperaturas muy altas, lo que permite la excitación de los átomos que están en la muestra, emitiendo una luz en longitudes de ondas específicas para cada elemento, para luego analizar esta luz con un espectrómetro óptico, brindando como resultado los elementos que contiene la muestra. (Qualiatest, 2024).

3.6. Aplicación de *Schoenoplectus californicus*

3.6.1. Parámetros para la elección de *Schoenoplectus californicus*

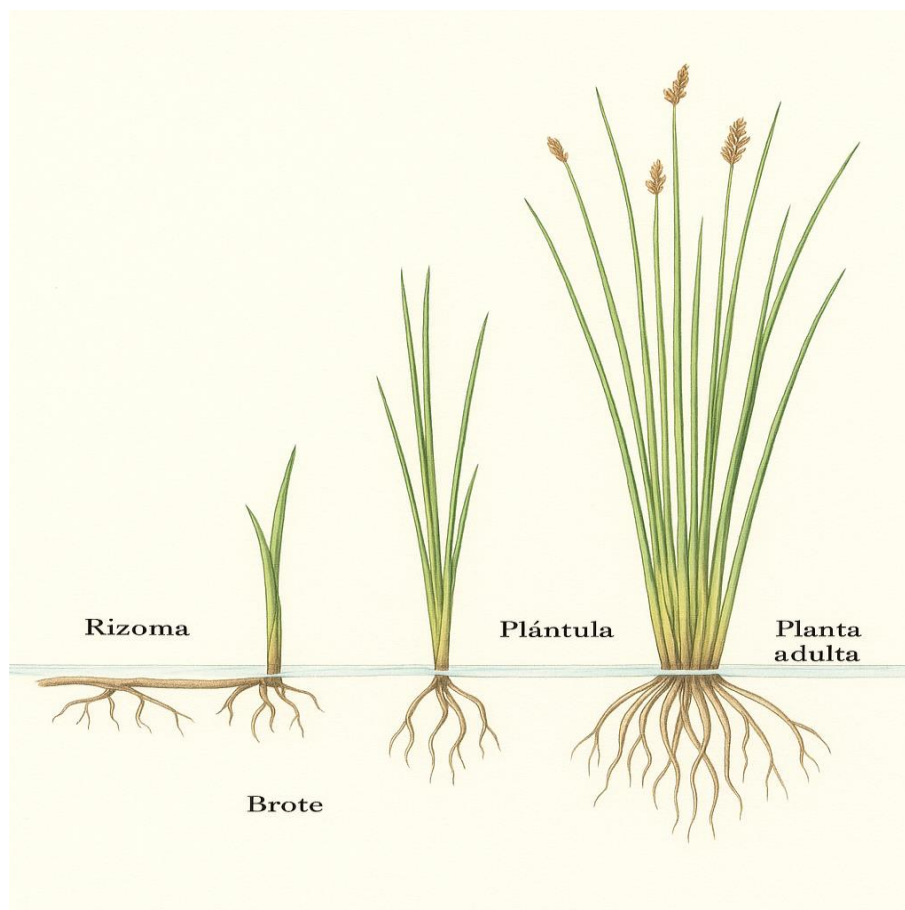
La elección específica de la especie *Schoenoplectus californicus* se respalda en estudios que evidencian su alta capacidad de tolerancia y adaptación en medios contaminados. En el estudio de Pabón et al. (2019), demostró que esta especie tiene alta capacidad de bioconcentración de metales pesados especialmente en las raíces; y según Franco et al. (2021) en su publicación, el uso de plantas acuáticas como la totora cumplen un papel importante como organismo fitorremediador, pues mejora la calidad de suelo o agua, debido a que actúa como un filtro acumulador de contaminantes orgánicos e inorgánicos, como los metales pesados. Asimismo, en el estudio de Hidalgo y García (2018) se destaca la importancia de seguir investigando este recurso, ya que puede aportar numerosos beneficios al medio ambiente y la sociedad.

Aunque el enfoque de la investigación no se centra en el estudio fenológico de la planta, se incluye un esquema representativo de su desarrollo; que muestra las principales fases, que son rizoma, brote, plántula y planta adulta. Estas fases pueden verificarse en el estudio de Loza (2020), quien analiza la fenología y desarrollo de *Schoenoplectus californicus* en el lago Titicaca, destacando que es una planta herbácea perenne, con tallos rizomatosos subacuáticos, cuyo crecimiento está relacionado con la profundidad del lago, y que mantiene un desarrollo continuo durante todo el año.

En la investigación se trabajó con la planta adulta, extraída directamente del lago Titicaca, con un cepellón formado, lo que permitió asegurar su capacidad de adaptación y continuidad en el medio experimental.

Figura 6

Representación gráfica del desarrollo de Schoenoplectus californicus



Nota. En la figura se observa las principales etapas del desarrollo fenológico de la especie *Schoenoplectus californicus*. El gráfico es de carácter referencial y ha sido validado por el docente responsable del laboratorio de botánica de la UNAP.

3.6.2. Recolección de *Schoenoplectus californicus*

La totora se recolectó a orillas del lago Titicaca en la ciudad de Puno, con el apoyo de un especialista en este tipo de planta. Se procedió a ir en bote hasta la zona donde se encontraba un número considerable de la especie que estamos utilizando en la investigación.

Para recolectar la planta se utilizó un machete, y con cuidado se procedió a sacar del fondo del lago los cepellones de totora; para luego proceder con su plantación en el relave minero. El proceso de recolección se puede observar en el anexo 17.

Figura 7

Zona para la recolección de las muestras de totora en el lago Titicaca



Nota. En la figura se observa la zona donde se recolectó los cepellones de totora para realizar la investigación.

Figura 8*Recolección de muestras de totora en el lago Titicaca*

Nota. En la figura se observa los cepellones de totora que se han recolectado en el lago Titicaca, que serán plantados en el relave minero.

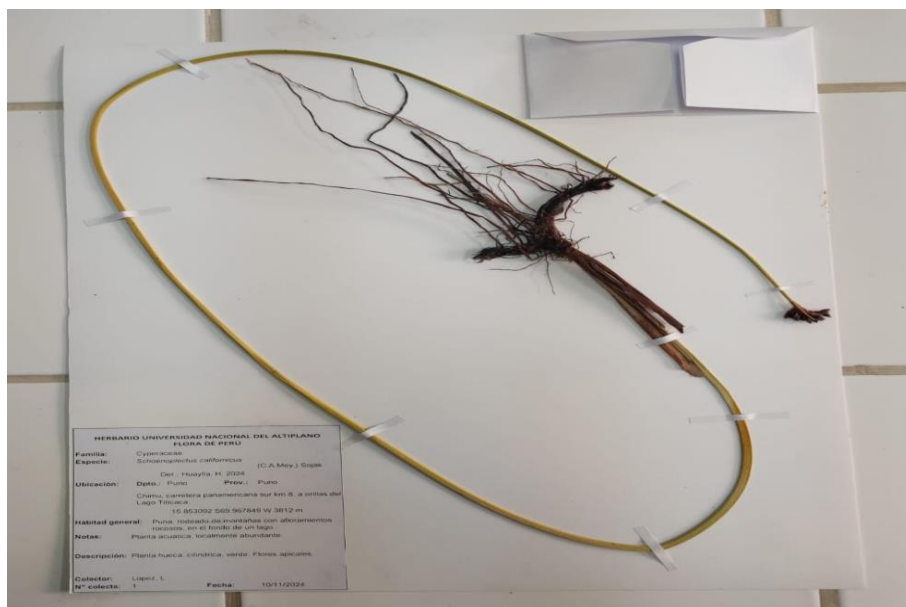
3.6.3. Certificación de la especie de totora *Schoenoplectus californicus*

Se recolectaron las plantas de totora en el lago Titicaca, posterior a ello, se certificó que el tipo de planta recolectada coincidía con el tipo de especie propuesta para el desarrollo de la investigación. Se llevaron ejemplares de la planta al 'laboratorio de botánica' de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, quienes certificaron que el tipo de totora recolectada pertenecía a la especie *Schoenoplectus californicus*. Los ejemplares que se llevaron al laboratorio se pueden observar en el anexo 18.

Con esta certificación previa y la seguridad que, si era la especie indicada, se continuo con la investigación. El certificado que se obtuvo se puede verificar en el anexo 7.

Figura 9

Ejemplar de totora compartido con el herbario de la UNAP



Nota. En la figura se observa un ejemplar de la especie de totora, que fue presentado para identificar que la especie a utilizar es la señalada en la investigación.

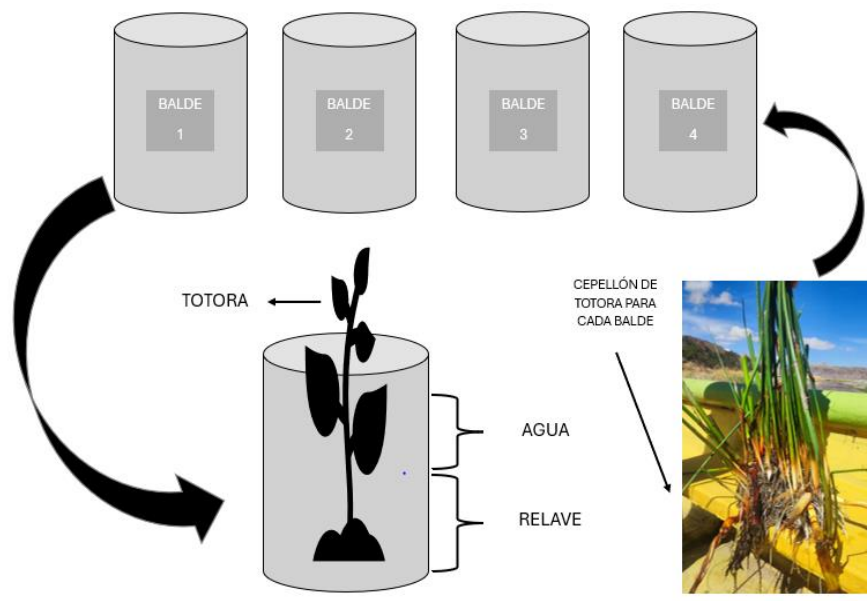
3.6.4. Diseño del esquema experimental para la plantación

El diseño del esquema experimental se realizó tomando en cuenta las limitaciones y recursos disponibles que se tuvo; con el objetivo de garantizar que la investigación tenga un resultado satisfactorio; también se tuvo en cuenta el procedimiento de investigaciones que desarrollaron una metodología similar a la que propuse.

La investigación se desarrolló a pequeña escala; la ejecución del diseño se realizó en mi domicilio, en un área específica y delimitada. Se utilizaron 4 recipientes reciclados de 20 L de capacidad en buen estado y limpios, en cada recipiente se colocó 8 kg de relave minero seguido de un cepellón de totora de aproximadamente 3 kg. El proceso que se ejecutó se puede observar en el anexo 19.

Figura 10

*Diseño para la plantación de *Schoenoplectus californicus* en el relave minero*



Nota. En la figura se observa el diseño experimental propuesto para plantar la titora en el nuevo medio de vida.

3.6.5. Plantación de *Schoenoplectus californicus* en el relave minero

Para la plantación de la especie de titora, se siguió el esquema experimental propuesto. En el fondo del recipiente se colocó primero 2 kg de relave, sobre este el cepellón de titora, y luego se terminó de plantar con los 6 kg de relave restantes, verificando que se haya tapado correctamente las raíces de la planta y que la misma esté recta, finalmente se añadió agua potable hasta llegar a un nivel aproximado de 10 cm por debajo del borde superior del recipiente. Cada 10 días se verificó que los recipientes tengan suficiente agua, y se llevó a un lugar donde pudo recibir unas horas de luz solar, con el objetivo de que las plantas puedan seguir desarrollándose correctamente en el nuevo medio de vida. Para el seguimiento del desarrollo de las plantaciones se utilizó la guía de observación; tomando una fotografía y anotando los cambios que se presentaba de manera mensual. Los resultados que se obtuvieron que están descritos en la guía se pueden observar en los anexos 8, 9, 10 y 11.

Figura 11*Plantación de Schoenoplectus californicus*

Nota. En la figura se observa el resultado final obtenido, luego de aplicar el diseño propuesto para plantar la totora en el relave minero.

3.6.6. Desarrollo de *Schoenoplectus californicus* en el relave minero

El comportamiento de la especie de totora durante la investigación fue satisfactorio, evidenciando un desarrollo acorde a lo esperado. En los anexos 8, 9, 10 y 11, donde se presenta la guía de observación aplicada durante la investigación, se puede verificar que las plantas no solo sobrevivieron, si no que continuaron desarrollándose en el nuevo medio de vida contaminado. En cada toma de muestra se registraron sus principales características morfológicas, así como observaciones específicas relacionadas con su estado fisiológico, lo que evidencia su capacidad de adaptación a las condiciones del nuevo medio de vida.

Demostrando que los 8 kg de relave minero utilizados en cada recipiente garantizan una muestra representativa del medio contaminado, y favorecen al desarrollo de la especie de totora, manteniendo un balance para el desarrollo de la planta.

Esto concuerda con el estudio de Arce y Acha (2025), quienes destacan que las plantas no siguen un patrón único de desarrollo, ya que este depende de las condiciones del entorno. En ecosistemas como los humedales artificiales, las condiciones climáticas hacen que no existan rasgos morfológicos comunes, ya que las plantas tienden a redistribuir de manera estratégica su biomasa en su estructura, para mantenerse en equilibrio.

Figura 12

Desarrollo de Schoenoplectus californicus al mes de estudio



Nota. En la figura se observa el desarrollo de la especie de totora en el relave minero, un mes después de ser plantado.

Figura 13

Desarrollo de Schoenoplectus californicus a los dos meses de estudio



Nota. En la figura se observa el desarrollo de la especie de totora en el relave minero, dos meses después de ser plantado. Se registra que la especie presenta un desarrollo favorable.

Figura 14

Desarrollo de Schoenoplectus californicus a los cuatro meses de estudio



Nota. En la figura se observa el desarrollo de la especie de totora en el relave minero, cuatro meses después de ser plantado. Se registra que la especie sigue desarrollándose favorablemente, y no ha perecido.

Durante la investigación para regar las plantas se utilizó agua potable, proveniente de la red de distribución de la ciudad de Puno. Cada 10 días se regaban las plantas; este era en promedio, el tiempo en el que se notaba una disminución del nivel de agua en los recipientes.

El agua potable en la ciudad de Puno está gestionada por la empresa EMSAPUNO, cuyos parámetros de calidad se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 214.003:1987 del INACAL, así como como los requisitos establecidos por la Dirección General de Salud Ambiental, para agua destinada al consumo humano, según el DS N.º 031-2010-SA. Los parámetros establecidos tanto por el INACAL como por DIGESA se pueden verificar en los anexos 4 y 5 respectivamente.

Según Yang .et al (2025) en su estudio destacan que, para el riego en un medio controlado, es importante utilizar agua que cumpla con los requisitos de calidad adecuados, para garantizar que los resultados sean confiables y objetivos. Asimismo, Alao .et al (2025) en su estudio refuerzan la importancia de considerar la calidad del suministro de agua, para garantizar que sea apta para el consumo humano, el riego y los procesos industriales. Por lo que la elección de agua potable respondió a la necesidad de evitar un posible incremento de metales pesados externos en el sistema experimental. Pues al tratarse de agua destinada al consumo humano, esta cumplía con los estándares de calidad establecidos por las autoridades competentes, garantizando que pueda ser utilizada en condiciones controladas. Esta decisión se adoptó para minimizar cualquier variación en los resultados que pudiera atribuirse a la calidad del agua empleada.

Los informes de control de calidad proporcionados por EMSAPUNO, durante los meses en el que se desarrolló la investigación, evidencian que factores como la conductividad eléctrica, el pH y la concentración de metales que pueden influir directamente en el desarrollo de la planta, se encuentran por debajo de los valores que representan un riesgo, confirmando que el agua utilizada no ejerce una influencia significativa en los resultados del estudio.

El certificado de la calidad de agua utilizada durante la investigación, emitido por EMSA se puede verificar en el anexo 6.

3.6.7. Obtención de las muestras para el análisis en laboratorio

Se obtuvo muestras en cada análisis, para eso se procedió a realizar el mismo procedimiento que para la muestra inicial. Se tomó una muestra de cada recipiente del tamaño aproximado de un vaso pequeño de 100 ml, luego se procedió a combinar las cuatro muestras, y mediante los pasos que se realizan con el método de cuarteo, que ya ha sido explicado previamente, se obtuvo la muestra representativa que se llevó al laboratorio para su análisis; este muestreo se realizó al finalizar cada mes durante periodo de experimentación. El proceso de obtención de las muestras se puede observar en el anexo 20.

Los resultados que se han obtenido en cada muestreo han sido certificados por el 'laboratorio de ensayo y control de calidad' de la Universidad Católica de Santa María, estos se obtuvieron a partir del análisis con la técnica ICP -OES, conforme al método EPA METHOD 200.2 Revisión 4.4; utilizando el modelo de equipo Optima 8000, de la marca PerkinElmer. Los resultados se pueden verificar en los anexos 12, 13, 14 y 15.



CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Parámetros para la obtención de las muestras en estudio

El relave minero está definido como población en la presente investigación; la muestra inicial de 32 kg se obtuvo bajo condiciones de acceso limitadas, por lo que fue no probabilística y por conveniencia. Según la Guía para Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente, se aplicó una técnica de muestreo dirigido o a juicio de expertos, que consiste en extraer la muestra en un punto determinado, donde se cuenta con información de la composición del sitio.

Para esta investigación la muestra se obtuvo de una relavera, que pertenece a una pequeña mina de oro al sur de país; y dado que se tenía limitado acceso, no resultó viable aplicar un esquema probabilístico tradicional; optando mejor por un muestreo por conveniencia, que fue facilitado por un trabajador de la mina, que contaba con acceso directo y conocimiento de la relavera. Esto se ajusta con lo escrito por Triola (2009), quien indica que el muestreo por conveniencia se utiliza cuando los datos están disponibles, y se consideran no probabilísticos, ya que los elementos de la población no tienen una probabilidad conocida de ser seleccionados.

Tomando en cuenta el estudio de Petrovskaia et al. (2021), un muestreo óptimo de suelo busca minimizar la varianza y maximizar la información, a través de diseños avanzados como el que propone; pero también reconoce que este tipo de diseños solo se pueden aplicar cuando se dispone de datos y en condiciones controladas, pero en escenarios con restricciones, como el limitado acceso al lugar de muestreo (relavera), su implementación no es factible. En este sentido la metodología adoptada en el estudio esta alineada con la lógica de un muestreo pragmático, que permite obtener datos satisfactorios en condiciones limitadas, para investigaciones con fines experimentales.

Para la obtención de la muestra representativa inicial de estudio que se llevó al laboratorio, se aplicó el método del cuarteo manual; una técnica que también se recomienda en la Guía para Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente, que consiste en reducir una muestra superficial de gran volumen hasta obtener una fracción homogénea que será analizada, en el caso de estudio fue una muestra de 50 g aproximadamente.

Posterior a este paso el material restante fue dividido en cuatro recipientes de 8 kg cada uno, en función a la disponibilidad del relave y en los cepellones completos que fue posible extraer del lago; considerando que esta cantidad es la adecuada para la investigación, ya que garantiza un volumen suficiente de sustrato para el desarrollo de la totora, y simula una condición real de un medio contaminado; este criterio es coherente según el estudio de Aransiola et al. (2013), donde utilizaron un mínimo de 5 kg de suelo contaminado con plomo para su tratamiento por fitorremediación, logrando resultados representativos bajo estas condiciones.

4.2. Resultado de la muestra inicial de relave minero

Tras ejecutar los pasos del plan de desarrollo de la investigación descrito anteriormente, se obtuvieron los siguientes resultados en la muestra inicial:

Tabla 2

Resultado de la muestra inicial de relave minero de oro

Metal	Símbolo	Resultado	Unidad
Arsénico	As	53.03	mg/kg
Cadmio	Cd	9.09	mg/kg
Cobre	Cu	277.27	mg/kg
Plomo	Pb	6.06	mg/kg
Zinc	Zn	163.64	mg/kg

Nota. Resultado de los principales metales pesados que contenía el relave minero de oro, sin plantar la especie de totora *Schoenoplectus californicus*.

En la tabla 2 se evidencia el resultado inicial de los metales pesados que se han obtenido del relave minero, mediante el análisis con la técnica ICP - OES. Se tomo en cuenta los principales metales pesados que normalmente contiene el relave minero de oro, evidenciando que el valor del resultado esta fuera de los LMP y de los ECA.

Se tomó como referencia los valores de los parámetros que define y regula el Ministerio del Ambiente en nuestro país. Se pueden verificar las limitaciones que tiene cada uno en los anexos 2 y 3 respectivamente.

4.3. Resultado de las muestras tomadas durante la investigación

Durante la investigación se decidió estudiar tres metales pesados de la lista de los que se encontró en el relave minero, que son plomo, cadmio y cobre. Tanto el cadmio como el cobre presentaron una respuesta favorable, tras la plantación de totora y el paso de los meses de estudio, evidenciando una disminución en sus niveles de concentración en comparación con el resultado inicial. En contraste, el plomo mostro en general una respuesta favorable; sin embargo, se observó un proceso de desorción, evidenciando que la remoción de metales pesados por parte de las plantas no sigue un comportamiento lineal.

4.3.1. Primer resultado en el mes de noviembre

Tabla 3

Resultado de la primera muestra de estudio

Metales	Símbolo	Día 1	Unidad
Plomo	Pb	6.06	mg/kg
Cadmio	Cd	9.09	mg/kg
Cobre	Cu	277.27	mg/kg

Nota. Resultado de la muestra inicial del relave minero en estudio. Se identificaron tres principales metales pesados, el plomo, cadmio y cobre, que tienen valores iniciales de 6.06 mg/kg, 9.09 mg/kg y 277.27 mg/kg respectivamente.

4.3.2. Segundo resultado en el mes de diciembre

Tabla 4

Resultado de la segunda muestra de estudio

Metales	Símbolo	Día 30	Unidad
Plomo	Pb	5.00	mg/kg
Cadmio	Cd	0.00	mg/kg
Cobre	Cu	170.83	mg/kg

Nota. Resultado de la segunda muestra en estudio; se identifica una remoción de cierta cantidad de los metales pesados con respecto al primer estudio. Lo que indica un proceso positivo de remoción de los metales pesados, en el relave minero.

4.3.3. Tercer resultado en el mes de enero

Tabla 5

Resultado de la tercera muestra de estudio

Metales	Símbolo	Día 60	Unidad
Plomo	Pb	12.00	mg/kg
Cadmio	Cd	4.00	mg/kg
Cobre	Cu	172.00	mg/kg

Nota. Resultado de la tercera muestra en estudio; se identifica con respecto al primer estudio, una remoción de cierta cantidad de concentración para cadmio y cobre, pero un notable incremento para el plomo.

4.3.4. Cuarto resultado en el mes de marzo

Tabla 6

Resultado de la cuarta muestra de estudio

Metales	Símbolo	Día 120	Unidad
Plomo	Pb	6.80	mg/kg
Cadmio	Cd	0.00	mg/kg
Cobre	Cu	19.48	mg/kg

Nota. Resultado de la cuarta muestra en estudio; se identifica con respecto al primer estudio, una remoción considerable en la cantidad de concentración para cadmio y cobre, pero un ligero incremento para el plomo.

Cabe precisar que para tomar la cuarta muestra se esperaron dos meses y no uno, esto con el objetivo de poder determinar si a mayor tiempo existía la posibilidad de obtener mejores resultados en la concentración de los metales pesados en el relave minero.

4.3.5. Comparación de los cuatro meses de estudio

Tabla 7

Resumen de resultados de las muestras en estudio

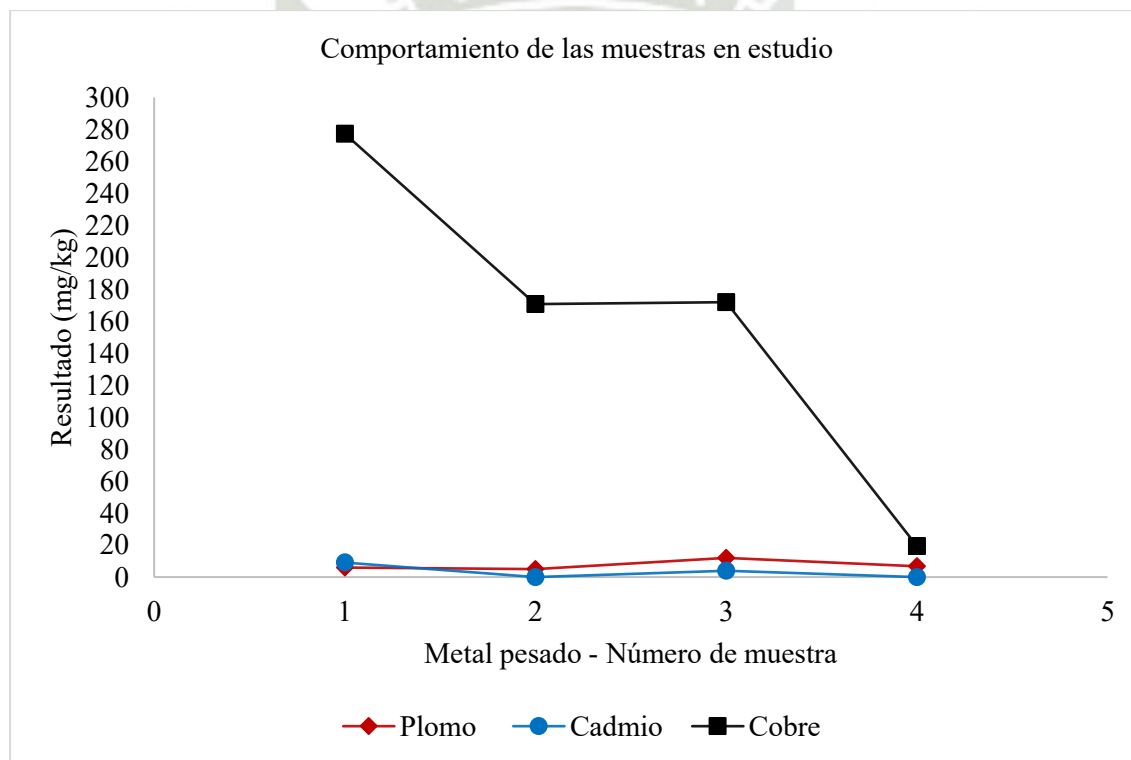
Metales	Símbolo	Día 1 (mg/kg)	Día 30 (mg/kg)	Día 60 (mg/kg)	Día 120 (mg/kg)	Variación (%)
Plomo	Pb	6.06	5.00	12.00	6.80	Incremento 12.00
Cadmio	Cd	9.09	0.00	4.00	0.00	Disminución 99.99
Cobre	Cu	277.27	170.83	172.00	19.48	Disminución 93.00

Nota. Resumen de resultados de las muestras en estudio. Se identifica un resultado positivo para cadmio y cobre, pero una variación no favorable en el plomo. Evidenciando de manera general una disminución en el porcentaje de concentración de cada metal pesado, en los meses de estudio.

En la tabla 7 se comparten los resultados que se han obtenido durante los cuatro meses de estudio con la plantación de totora. Evidenciando que la especie de totora *Schoenoplectus californicus*, es altamente efectiva con la remoción de cadmio, modernamente efectiva con el cobre, y ligeramente efectiva con el plomo; tras haberse desarrollado en un medio contaminado por metales pesados, como lo es el relave minero.

Figura 15

Gráfico del comportamiento de las muestras en estudio con el paso de los meses



Nota. En el gráfico de dispersión se observa el resultado para plomo, cadmio y cobre, en la segunda, tercera y cuarta muestra; han presentado un resultado de remoción positivo por parte de *Schoenoplectus californicus*, referente a la primera muestra de estudio.

4.4. Análisis e interpretación de los resultados de las muestras de relave minero

4.4.1. Comparación de los resultados con el primer mes de estudio

Tabla 8

Cuadro comparativo del resultado inicial y luego de un mes

Metales	Símbolo	Día 1 (mg/kg)	Día 30 (mg/kg)	Remoción (%)
Plomo	Pb	6.06	5.00	17.49
Cadmio	Cd	9.09	0.00	99.99
Cobre	Cu	277.27	170.83	38.39

Nota. Resumen comparativo entre el resultado inicial y un mes después. Se identifica un porcentaje de remoción positivo, para los tres metales pesados; tras estar en contacto directo con la especie de totora *Schoenoplectus californicus*.

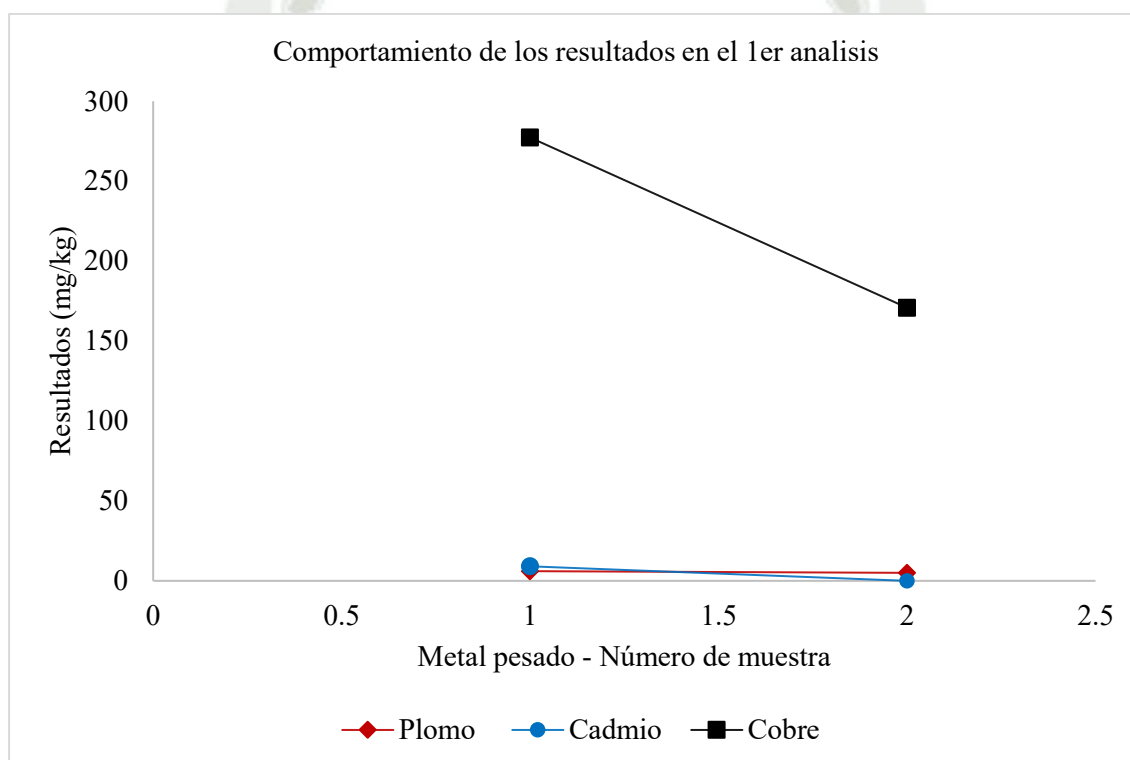
En la tabla 8 se presenta una comparación entre los resultados obtenidos de la muestra inicial del relave minero de oro, y del segundo resultado tomado un mes después. Se puede apreciar una remoción considerable de los metales pesados; para el cadmio en un porcentaje cercano al total, para cobre en 38.39% y para plomo en 17.49 %, luego de aplicar *Schoenoplectus californicus*. Lo que coincide con la investigación de Diaz y Peralta (2017), donde demostraron con su estudio que la totora puede acumular metales pesados en condiciones hidropónicas.

En este primer resultado de la investigación la remoción del cadmio es significativamente mayor en comparación con el cobre y plomo, que obtuvo un resultado de remoción del 38.39% en cobre y del 17.49%, en plomo; siendo estos resultados más bajos, en comparación con los resultados de la investigación de Harguinteguy .et al (2023), donde la remoción del cobre es superior al 80.00%, y para el plomo del 90.00%; pero es relevante mencionar que el experimento se realizó en otras condiciones.

Los resultados obtenidos de remoción con la aplicación de la planta también coinciden con los estudios de Asto (2018), quien resalta que la totora absorbe significativamente metales pesados en sus raíces.

Figura 16

Gráfico comparativo entre el resultado inicial y luego de un mes



Nota. En el gráfico de dispersión se observa el resultado para plomo, cadmio y cobre, después de un mes del desarrollo experimental; han presentado un resultado de remoción positivo.

En la figura 15 se evidencia el comportamiento positivo de los tres metales pesados, frente al desarrollo experimental con *Schoenoplectus californicus*, reflejando una disminución de la cantidad de cada metal pesado tras un mes de estudio.

4.4.2. Comparación de resultados con el segundo mes de estudio

Tabla 9

Cuadro comparativo del resultado inicial y luego de dos meses

Metales	Símbolo	Día 1 (mg/kg)	Día 60 (mg/kg)	Remoción (%)
Plomo	Pb	6.06	12.00	0.00
Cadmio	Cd	9.09	4.00	56.00
Cobre	Cu	277.27	172.00	38.00

Nota. Resumen comparativo entre el resultado inicial y dos meses después. Se identifica un porcentaje de remoción positivo referente al primer estudio, solo para cadmio y cobre, y no es favorable para el caso del plomo; tras estar en contacto directo con la especie de totora *Schoenoplectus californicus*.

En la tabla 9 se presenta una comparación entre los resultados obtenidos de la muestra inicial del relave minero de oro, y del tercer resultado tomado dos meses después. Se puede apreciar una remoción moderada de los metales pesados, para cadmio en 56.00% y para cobre en 38.00%, pero para el plomo un incremento de concentración; luego de aplicar *Schoenoplectus californicus*.

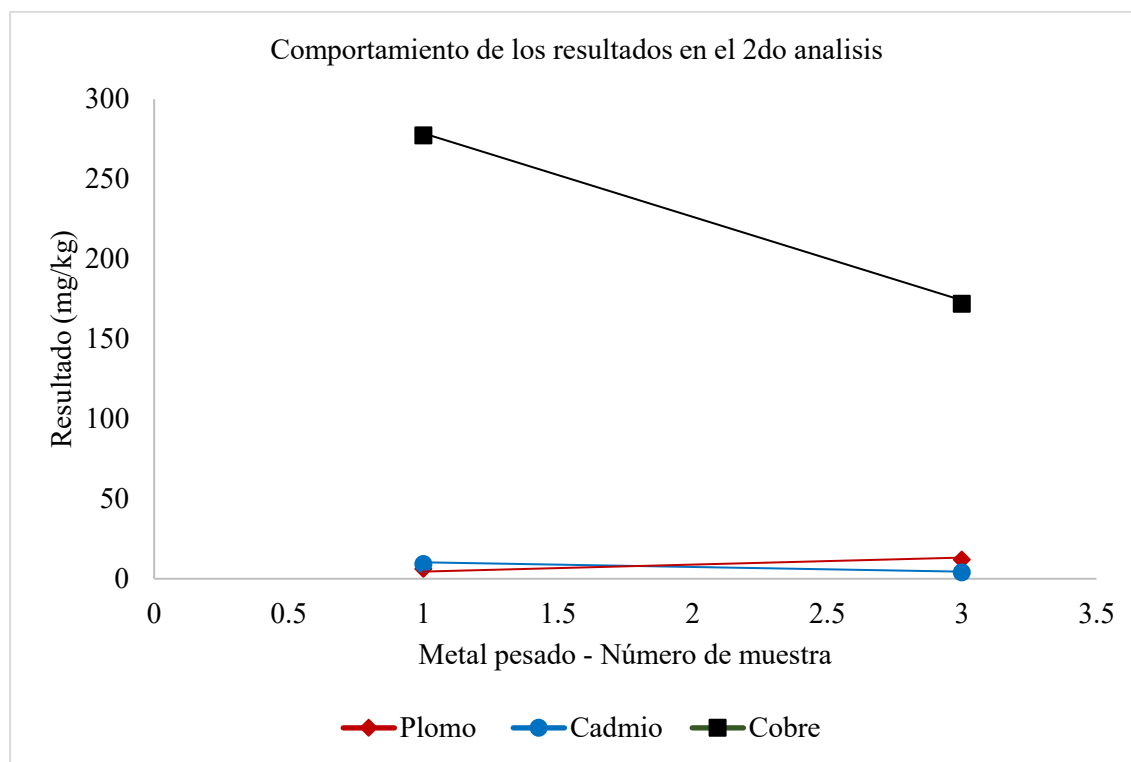
Lo que coincide con el estudio de De La Peña (2015), quien demostró con su investigación que la totora tiene capacidad de bioacumular metales pesados; asimismo el estudio de Quintana (2019), evidencio que la totora tiene capacidad fitorremediadora para los metales pesados. En comparación esta Araujo y Castro (2021), que con su investigación obtuvieron mejores resultados para el plomo, obteniendo una absorción del 90.65%, demostrando también que la totora tiene capacidad biorremediadora en metales pesados.

Es importante señalar que el incremento del plomo en el presente mes de estudio fue afectado por un proceso de desorción; esto ocurre porque en condiciones atípicas las plantas liberan los iones y moléculas absorbidos (Aditya et al., 2024).

Lo cual evidencia que, para el caso del plomo, la especie *Schoenoplectus californicus* no presenta una respuesta muy favorable.

Figura 17

Gráfico comparativo entre el resultado inicial y luego de dos meses



Nota. En el gráfico de dispersión se observa el resultado para plomo, cadmio y cobre, después de dos meses del desarrollo experimental; han presentado un resultado de remoción positivo con algunas variaciones, referente al primer estudio.

En la figura 16 se evidencia un comportamiento positivo para el cadmio y el cobre, frente al desarrollo experimental con *Schoenoplectus californicus*, reflejando una disminución de la cantidad de cada metal pesado tras dos meses de estudio; a excepción del plomo que presenta un incremento en su concentración.

4.4.3. Comparación de resultados con el cuarto mes de estudio

Tabla 10

Cuadro comparativo del resultado inicial y luego de cuatro meses

Metales	Símbolo	Día 1 (mg/kg)	Día 120 (mg/kg)	Remoción (%)
Plomo	Pb	6.06	6.80	0.00
Cadmio	Cd	9.09	0.00	99.99
Cobre	Cu	277.27	19.48	93.00

Nota. Resumen comparativo entre el resultado inicial y cuatro meses después. Se identifica un porcentaje de remoción positivo referente al primer estudio, solo para cadmio y cobre, pero no para el caso del plomo; tras estar en contacto directo con la especie de totora *Schoenoplectus californicus*.

En la tabla 10 se presenta una comparación entre los resultados obtenidos de la muestra inicial del relave minero de oro, y del cuarto resultado tomado cuatro meses después. Se puede apreciar una remoción significativa en el cadmio con un porcentaje cercano al total y para cobre en 93.00%, a excepción del plomo que presenta un incremento; luego de aplicar *Schoenoplectus californicus*.

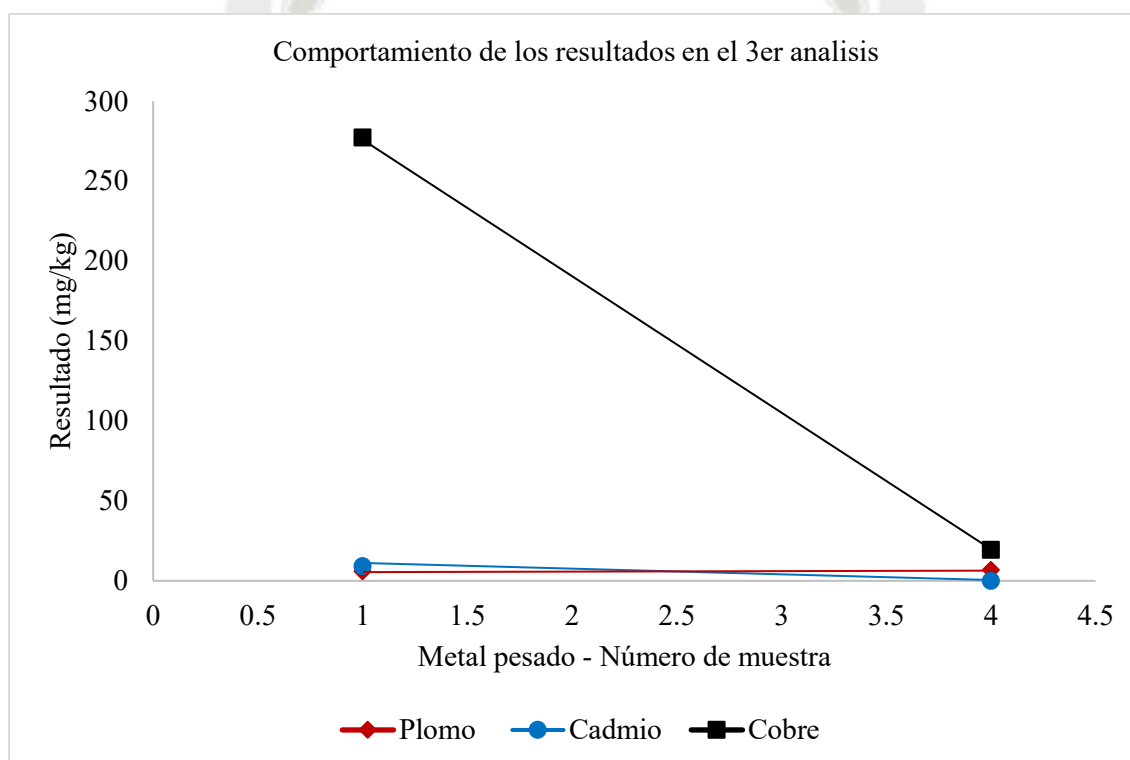
Lo que coincide con el estudio de Miranda (2019), que en sus resultados confirmo que la totora tiene capacidad fitorremediadora, concentrando los metales pesados en la raíz y el tallo; reafirmando este resultado con el estudio de Chagua y Tardío (2015), quienes indicaron que la totora tiene capacidad de remover metales pesados, y guardarlos en su estructura; en comparación con Diaz y Peralta (2017), que demostró tener un mejor resultado para el plomo.

Cabe señalar que igualmente en este último estudio también se presenta un incremento del plomo. Por lo que una vez más se evidencia que la planta está experimentando un proceso de desorción debido a los cambios fisicoquímicos del medio en el que se está desarrollando.

Pues no solo tuvo contacto con el relave minero sino también con el agua con la que se rego, por lo que esto contribuyo a una disminución del potencial redox y del pH, produciendo variaciones poco favorables (López et al., 2001).

Figura 18

Gráfico comparativo entre el resultado inicial y luego de cuatro meses



Nota. En el gráfico de dispersión se observa el resultado para plomo, cadmio, y cobre, después de cuatro meses del desarrollo experimental, referente al primer estudio; el cadmio y cobre ha presentado un resultado de remoción positivo, en comparación con el plomo que tuvo solo ligeros cambios.

En la figura 17 se evidencia un comportamiento positivo para el cadmio y el cobre, frente al desarrollo experimental con *Schoenoplectus californicus*, reflejando una disminución de la cantidad de cada metal pesado tras cuatro meses de estudio, a diferencia del plomo que se ve un ligero incremento en su concentración.

4.5. Comportamiento de los metales pesados a lo largo del tiempo

Finalizado el periodo de investigación de 120 días, se realizó una comparación del resultado obtenido con la muestra inicial de relave minero. Identificando un incremento en la concentración de plomo y cadmio en el día 60, en comparación con los resultados anteriores. Este comportamiento puede explicarse por el fenómeno de desorción, un proceso natural por el que una especie puede liberar metales pesados previamente absorbidos en su estructura, bajo ciertas condiciones. Según Pintado (2018), en su estudio, se indica que la desorción es el proceso inverso a la absorción, mediante el cual las moléculas contaminantes que se encontraban previamente en el biosorbente son liberadas al medio, como resultado de un cambio químico inducido por factores externos.

En el estudio de Amiri y Ghasemi (2025), destacan que los niveles de adsorción y retención de contaminantes de una especie se ven afectados por las variaciones de pH en el medio. Cuando el pH disminuye, la capacidad de adsorción se reduce, lo que puede desencadenar un proceso de desorción, de los metales previamente retenidos. También en el estudio de López .et al (2001), indican que la desorción esta influenciada principalmente por cambios fisicoquímicos, tales como variaciones en el pH, la saturación de la matriz adsorbente, la concentración iónica del medio y otras alteraciones químicas del sistema.

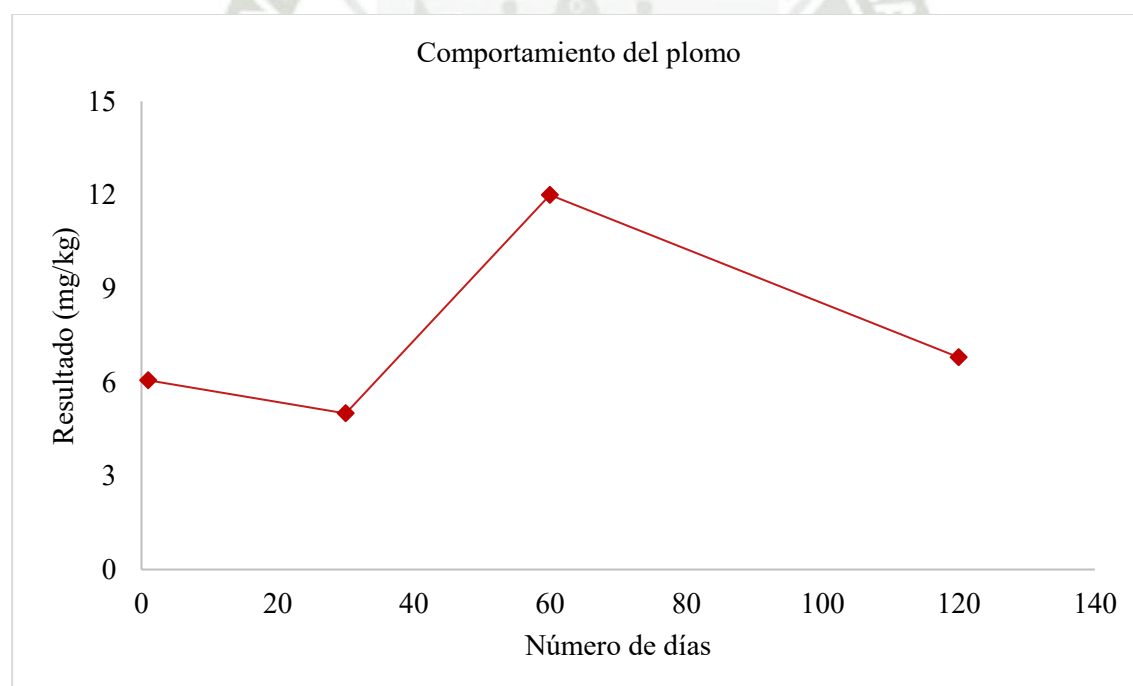
Los resultados obtenidos demuestran que, aunque se produjo un incremento en la concentración de plomo y cadmio para el día 60, seguido de una disminución en el día 120; la planta continuó ejerciendo su efecto remediador, dentro de una fase dinámica propia del proceso de estabilización de metales Este resultado lejos de invalidar la investigación refuerza que es necesario considerar y entender, que la remoción de metales pesados no es un proceso lineal que tiende siempre a disminuir.

Según los estudios de Yang .et al (2001), el proceso de adsorción y desorción presenta tres etapas, la primera consiste en una adsorción inicial rápida, seguida una fase de saturación, y finalmente una etapa de desorción parcial, que es evidente normalmente a mediano plazo, por lo que modelos no lineales se ajustan mejor a esta naturaleza compleja. Asimismo, en el estudio de Liang .et al (2025), resaltan que no se debe considerar adsorción sin tener en cuenta una posible desorción; pues la adsorción no es un proceso constante, ya que varía con el tiempo y esta influenciada por el entorno.

A continuación, se presentan los gráficos del comportamiento a lo largo del tiempo para cada metal pesado, donde se observa un proceso de remoción y también de desorción.

Figura 19

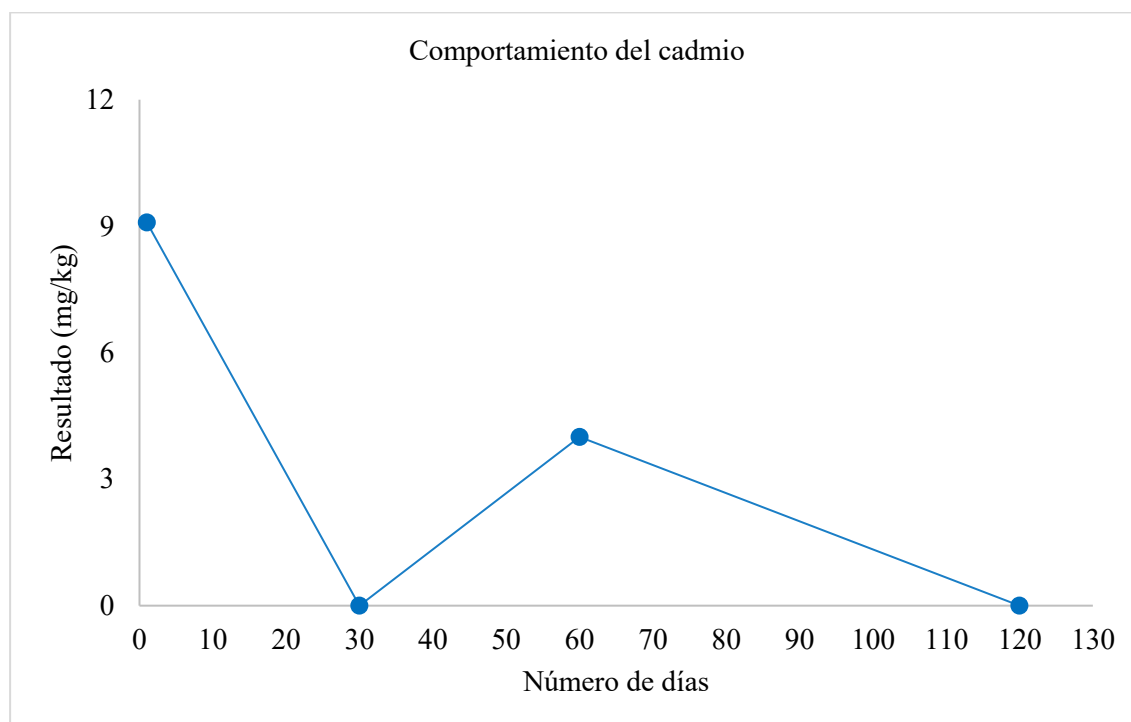
Comportamiento del plomo a lo largo del tiempo.



Nota. Se observa en el gráfico que a los 30 días empezó a presentarse un resultado positivo de remoción de este metal pesado; sin embargo, a los 60 días se observa un alto incremento en su concentración, reflejando que hubo proceso de desorción; finalmente a los 120 días se observa que hubo un proceso de remoción otra vez, y que el incremento de la concentración fue muy ligero, tomando como referencia el resultado inicial.

Figura 20

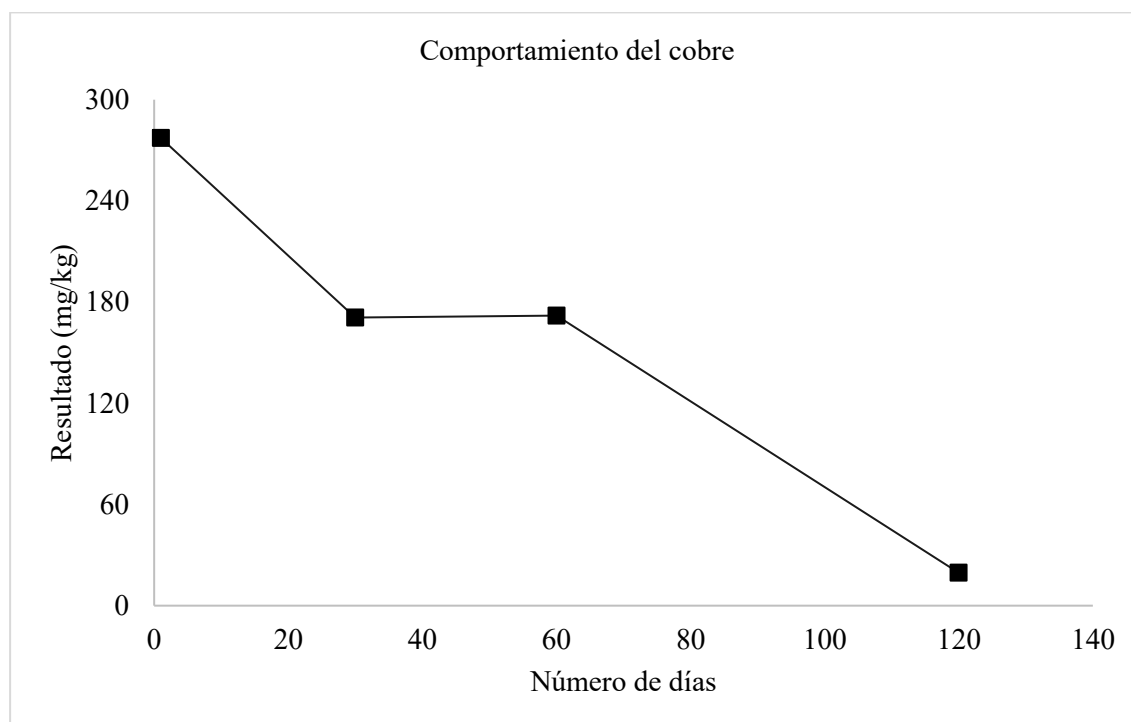
Comportamiento del cadmio a lo largo del tiempo



Nota. Se observa en el gráfico que a los 30 días el resultado de remoción fue muy positivo, pero a los 60 días se presentó una ligera desorción, y finalmente a los 120 días el resultado volvió a ser positivo; lo que evidencia que *Schoenoplectus californicus* es realmente eficiente para este tipo de metal pesado.

Figura 21

Comportamiento del cobre a lo largo del tiempo



Nota. Se observa en el grafico que a los 30 días el resultado de remoción fue muy positivo, a los 60 días se presentó muy poca remoción, y finalmente a los 120 días el resultado volvió a ser positivo, siendo el que mejor desarrollo presento, en comparación con los otros metales pesados; lo que evidencia que *Schoenoplectus californicus* es altamente eficiente para este tipo de metal pesado.

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo una remoción significativa de los metales pesados presentes en el relave minero, mediante la aplicación de *Schoenoplectus californicus*; evidenciándose una reducción de sus concentraciones respecto a los valores iniciales. Demostrando su eficacia como una propuesta viable para el tratamiento del relave minero, antes de su disposición final.
2. Los principales metales pesados identificados inicialmente en el relave minero de oro fueron, arsénico con una concentración de 53.03 mg/kg, cadmio con 9.09 mg/kg, cobre con 277.27 mg/kg, plomo con 6.06 mg/kg, y zinc con 163.64 mg/kg.
3. La aplicación de *Schoenoplectus californicus* fue adecuada para la remoción de metales pesados en el relave minero de oro. Destacando los resultados para cadmio y cobre.
4. La remoción de los metales pesados del relave minero de oro, después de la aplicación de *Schoenoplectus californicus*, se cuantificaron mediante los resultados de laboratorio con la técnica ICP-OES. Al finalizar el estudio los resultados alcanzaron una remoción del 99.99% de cadmio, y del 93.00% de cobre; en contraste se evidenció un proceso de desorción para el caso del plomo.

RECOMENDACIONES

1. Verificar previamente los cepellones de totora que se van a utilizar en el estudio, para determinar la posibilidad de que estos puedan contener o no metales pesados en su estructura.
2. Realizar un análisis previo al agua del lago Titicaca, que está en contacto inicial con la totora, y al tipo de agua utilizada en el riego de las plantas, para identificar posibles variables externas que puedan influir en los resultados finales.
3. Analizar los tallos y raíces de *Schoenoplectus californicus*, para determinar qué cantidad de metales pesados puede llegar a concentrar en su estructura.
4. Evaluar la concentración del relave minero en intervalos de tiempo distintos a los utilizados en la investigación, ya sea de menor o mayor tiempo de contacto con la especie de totora, para analizar el comportamiento del proceso de remoción.
5. Desarrollar un estudio costo-beneficio que permita evaluar la viabilidad técnica y económica de aplicar esta investigación a gran escala.

REFERENCIAS

- Aditya, D. S., Mahadevaprasad, K. N., & Nataraj, S. K. (2024). “*Polymer-clay nanocomposites for dyes abatement*”. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95486-0.00015-6>
- Alao, J. O., Otokpa, O. J., Ayejoto, D. A., & Saqr, A. M. (2025). “*Assessing the community knowledge on waste management practices, drinking water source systems, and the possible implications on public health systems*”. Cleaner Waste Systems, 11. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100295>
- Amiri, M., & Ghasemi, A. (2025). “*Investigation of the impact of heavy metal lead on the geotechnical and environmental properties of marl soils with a special focus on desorption behavior in industrial áreas*”. Results in Engineering, 27. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105957>
- Aransiola, S. A., Ijah, U. J. J., & Abioye, O. P. (2013). “*Phytoremediation of lead polluted soil by Glycine max L*”. Applied and Environmental Soil Science, 2013, Article 631619. <https://doi.org/10.1155/2013/631619>
- Araujo, Y., & Castro, C. (2021). “*Schoenoplectus californicus (totora) como biorremediador para mitigación del arsénico y plomo en aguas del rio Opamayo, Rumichaca - Huancavelica – 2021*”. [Tesis de Titulación, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73467>
- Arce, W. A., & Achá, D. (2025). “*Allometric determinations in the early development of Schoenoplectus californicus to monitor nutrient uptake in constructed wetlands*”. Ecohydrology & Hydrobiology, 25(1), 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2023.11.013>
- Arias, & Fidas. (2006) “*El proyecto de investigación*”. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme.

- Asto, J. (2018). “*Influencia de la Putacca y Totora para la fitoestabilización en los depósitos de relaves mineros en la Compañía Minera Tambo del Condor S.R.L - Ayacucho 2017*”. [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/items/28c49900-66a1-4164-b607-f1c1dce18908>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. (2023). “*¿Qué es el medioambiente y por qué es clave para la vida?*”. Sitio web corporativo. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-medioambiente-y-por-que-es-clave-para-la-vida/>
- BHP. (2024). “*¿Qué son los relaves y las instalaciones de almacenamiento de relaves?*”. Sitio web corporativo. <https://www.bhp.com/es/sustainability/tailings-storage-facilities/what-are-tailings-storage-facilities>
- Biamonte, G. (2024). “*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 de titulación, Universidad Nacional de Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/23318>
- Blanco, J. A. (2019). “*Suitability of totora (Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják) for its use in constructed wetlands in areas polluted with heavy metals*”. Sustainability, 11(1), 19. <https://doi.org/10.3390/su11010019>
- Caviedes Rubio, D. I., Delgado, D. R., & Olaya Amaya, A. (2016). “*Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales*”. Producción + Limpia, 11(2), 126–149. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5912357>

- Chagua, R., & Tardio, J. (2015). “*Evaluación de remoción de cobre y zinc por la planta nativa Scirpus Californicus (Totora) en la comunidad de Pomachaca - Tarma*”. [Tesis de Titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1939>
- De la Peña, E. (2015). “*Evaluación de la capacidad de bio acumulación de hierro (Fe) en la Scirpus Californicus (totora) en humedales artificiales para el tratamiento del agua del lago Chinchaycocha Junín*”. [Tesis de Titulación, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio institucional de la Universidad Alas Peruanas. <https://hdl.handle.net/20.500.12990/1593>
- Díaz, L. & Perarla, L. (2017). “*Estudio comparativo de la capacidad de acumulación para cadmio y plomo de Scirpus californicus (Totora) y Stypa ichu (Ichu) bajo condiciones hidropónicas*”. [Tesis de Titulación, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio institucional de la Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/81656726-a565-4e6e-a712-1194a7a62dc9>
- Dirección General de Salud Ambiental. (2021). “*Reglamento de la calidad del agua para consumo humano DS N° 031-2010-SA*”. Sitio web institucional. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- Espín, D., et al. (2017). “*Manejo, gestión, tratamiento y disposición final de relaves mineros generados en el proyecto Río Blanco*”. Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa, 2(4). <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/revista-seguridad-defensa/article/view/RCSDV2N4ART1>
- Facsa. (2017). “*Metales pesados*”. Sitio web corporativo. <https://www.facsa.com/metales-pesados/>

Folch, T., & Armanet, S. (2023). *“Plan Maestro Santuario de la Naturaleza Laguna de Batuco”*. Paisaje Urbano Paur.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8974580>

Franco, M. del R., Medici, S. K., Okada, E., & Pérez, D. J. (2021). *“Biorremediación de aguas contaminadas por actividades agropecuarias: Uso de la planta acuática Typha spp. (totorá) como organismo fitorremediador”*. *Visión Rural*, 28(140), 42.

https://repositorio.inta.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12123/11172/INTA_CRBsAsSur_EEABalcarce_Franco_MR_Biorremediacion_aguas_contaminadas_actividades.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Freire, N., & Paniagua, V. (2023). *“Nuevas disposiciones para transporte y disposición de relaves mineros”*. Estudio Ehecopar. Sitio web corporativo.

<https://www.ehecopar.com.pe/publicaciones-nuevas-disposiciones-para-transporte-y-disposicion-de-relaves-mineros.html>

Fundación BBVA. (2025). *“Diccionario del español actual”*. Sitio web.

<https://www.fbbva.es/diccionario/cepell%C3%B3n/>

Granda Portilla, Marcos., (2009). Galería en Flickr. <https://www.flickr.com/photos/marcosg/>

Guitarta, R., & Giménez, N. (2012). *“¿Qué es un «tóxico»? Una propuesta de definición”*.

Medicina Clínica. Vol. 138. Núm. 3. [https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-que-es-un-toxico-una-](https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-que-es-un-toxico-una-S0025775311001552#:~:text=La%20nueva%20definici%C3%B3n%20dice%3A%20%C2%ABt%C3%B3xico,contacto%20penetrar%20y%20Fo%20ser)

[S0025775311001552#:~:text=La%20nueva%20definici%C3%B3n%20dice%3A%20%C2%ABt%C3%B3xico,contacto%20penetrar%20y%20Fo%20ser](https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-que-es-un-toxico-una-S0025775311001552#:~:text=La%20nueva%20definici%C3%B3n%20dice%3A%20%C2%ABt%C3%B3xico,contacto%20penetrar%20y%20Fo%20ser)

Harguinteguy, C., .et al (2023). *“Capacidad de Schoenoplectus californicus para eliminar y tolerar cobre, plomo y zinc en sistemas de humedales construidos mediante simulación de aguas residuales”*. Conicet, Artículo

https://bicyt.conicet.gov.ar/fichas/produccion/en/11563252?utm_source

- Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2018). “*Totora (Schoenoplectus californicus (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material*”. *Industrial Crops and Products*, 112, 467–480. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.12.029>
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). “*Norma Técnica Peruana NTP 214.003:1987*”. Sitio web institucional. <https://www.gob.pe/inacal>
- International Council on Mining and Metals. (2020). “*Acerca de los Relaves*”. Sitio web corporativo. <https://www.icmm.com/en-gb/news/2020/edicion-en-espanol-gestion-y-resolucion-de-preocupaciones-y-quejas>
- Ipenza, C. (2012). “*Manual para entender la pequeña minería y la minería artesanal y los decretos legislativos vinculados a la minería ilegal*”. Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA). <https://spda.org.pe/publicacion/manual-para-entender-la-pequena-mineria-y-la-mineria-artesanal-y-los-decretos-legislativos-vinculados-a-la-mineria-ilegal/>
- Liang, R., Mat Isa, Z., & Darwish, S. M. H. (2025). “*Instantaneous and exponential decay point source effects on two-dimensional heavy metal transport with adsorption and desorption in soil*”. *Ain Shams Engineering Journal*, 16(6). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2025.103376>
- López J., et. al (2001). “*Técnicas de biorrecuperación in situ en acuíferos contaminados por metales pesados*”. Instituto Geológico y Minero de España. https://web.igme.es/ActividadesIGME/lineas/HidroyCA/publica/libros4_CCA/lib15/pdflib15/021.pdf

- Loza, A. (2020). “*Productividad primaria, desarrollo fenológico y valor nutricional de la totora Schoenoplectus tatora (Kunth) Palla en hábitats perturbados por quema - lago Titicaca*”. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16844>
- Menéndez, J., & Muñoz, S. (2021). “Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros”. *Paideia XXI, II(1)*, 141–154. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3622>
- Ministerio de Energía y Minas. (2011). “*Guía para los pequeños mineros y mineros, ¿Qué debo saber para ejercer actividades mineras formalmente?*”. Sitio web institucional. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-pequenos-mineros-mineros-que-debo-saber-ejercer-actividades>
- Ministerio del Ambiente. (2011). “*Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM*”. Norma legal. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>
- Ministerio del Ambiente. (2011). “*Límites máximos permisibles*”. Sitio web institucional. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/limites-maximos-permisibles/>
- Ministerio del Ambiente. (2013). “*Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para Suelo. Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM*”. Norma legal. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>
- Ministerio del Ambiente. (2013). “*Estándares de calidad ambiental*”. Sitio web institucional. <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/>
- Ministerio del Ambiente. (2014). “*Guía para el muestreo de suelos*”. Sitio web institucional. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2024). “*Metales pesados*”. Sitio web institucional. https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/emisiones-a-la-atmosfera/emisiones-problematika-ambiental/metales_pesados.html
- Miranda, E. (2019). “*Evaluación de la capacidad fitorremediadora Schoenoplectus californicus (Tora) para remoción de arsénico y boro mediante de flujo horizontal in vitro*”. [Tesis de Titulación, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio institucional de la Universidad Alas Peruanas. <https://repositorio.uap.edu.pe/xmlui/handle/20.500.12990/8674>
- Orellana, E., & González, V. (2020). “*Aspectos e impactos ambientales*”. Better. Sitio web corporativo. <https://better.cl/wp-content/uploads/2020/05/NewsBetter-Aspectos-e-Impactos-Ambientales.pdf>
- Pabón, G., Rodés, R., Pérez, L., Vásquez, L., & Ortega, E. (2019). “*Relaciones morfológicas en Schoenoplectus californicus (Cyperaceae) en lagos alto-andinos de Ecuador*”. Revista del Jardín Botánico Nacional, 40, 109–119. <https://www.jstor.org/stable/26937052>
- Perú21. (2024). “*En el 2024 la minería es de todos*”. Sitio web corporativo. <https://peru21.pe/economia/en-el-2024-la-mineria-es-de-todos-pbi-bcr-economia-tia-maria-antamina-raura-cajamarca-arequipa-noticia/>
- Petroenergía. (2021). “*Relave minero como alternativa de reciclaje para la industria de la construcción*”. Sitio web corporativo. <https://www.petroenergia.info/post/relave-minero-como-alternativa-de-reciclaje-para-la-industria-de-la-construcci%C3%B3n>
- Petrovskaia, A., Ryzhakov, G., & Oseledets, I. (2021). “*Optimal soil sampling design based on the maxvol algorithm*”. Geoderma, 402, 115362. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115362>

- Pintado, K. (2018). “*Comparación de la biosorción y desorción de metales pesados mediante el uso de marlo de maíz (Zea mays) en aguas contaminadas*”. [Tesis de Licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional Universidad Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16226>
- Ponce, Y., & Quispe, R. (2019). “*Remoción de zinc de los efluentes de la minería informal de la quebrada Sacalla empleando plantas hidrófitas Schoenoplectus californicus y Eichhornia crassipes*”. [Tesis de Titulación, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional de la Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/52206>
- Qualiatest. (2024). “*Espectroscopia de Emisión Óptica de Plasma Acoplado Inductivamente ICP-OES*”. Sitio web corporativo. <https://www.worldoftest.com/es/icp-oes>
- Quimica.es. (2025). “*Concentración*”. Sitio web. <https://www.quimica.es/enciclopedia/Concentraci%C3%B3n.html>
- Quintana, W. (2019). “*Actividad fitorremediadora de la totora (Schoenoplectus californicus) en agua contaminada por arsénico en los pozos del caserío Tranca Fanupe - Mórrope*”. [Tesis de Titulación, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional de la Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/40461>
- Salas Urviola, F. B. (2009). “*Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno-Perú*”. Revista de Investigaciones (Escuela de Posgrado), 5(4), 47–56. <https://revistas.unap.edu.pe/epg/index.php/investigaciones/article/view/14/11>
- Sarret, G., et. al (2019). “*Extreme arsenic bioaccumulation factor variability in lake Titicaca, Bolivia*”. Scientific Reports, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47183-8>
- Seguí, P. (2023). “*Seres vivos: Qué son, clasificación y características*”. Ovacen. Sitio web corporativo. <https://ecosistemas.ovacen.com/seres-vivos/>

- SENAMHI Perú. (2007). “*Estado de la calidad del agua del Lago Titicaca*”. Informe técnico
<https://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/evalHidroLagoTitiCaca.pdf>
- Sucari, L. (2022). “*Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando Scirpus californicus (tatora) y Festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín*”. [Tesis de Titulación, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2445>
- Triola, M. (2009). “*Estadística*” (10ma edición). Editorial Pearson.
- Universidad Internacional de la Rioja. (2023). “*¿Cuál es la diferencia entre riesgo y peligro?*”. UNIR revista. Sitio web institucional.
<https://www.unir.net/ingenieria/revista/diferencia-riesgo-y-peligro/#:~:text=El%20peligro%20hace%20referencia%20a,la%20gravedad%20de%20sus%20consecuencias>
- Yan, G., Viraraghavan, T., & Chen, M. (2001). “*A new model for heavy metal removal in a biosorption column*”. Adsorption Science & Technology, 19(1), 25–43.
<https://doi.org/10.1260/0263617011493953>
- Yang, S., Wei, D., Xie, Z., Tao, L., Chen, Q., Uddin, M. G., Wang, Y., Huang, X., Wang, Y., & Zhang, Y. (2025). “*Surface water and groundwater suitability assessment for drinking and irrigation in a coal-mining area of southwestern China: EWQI, IWQI, and sensitivity análisis*”. Journal of Environmental Sciences. Advance online publication.
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2025.05.074>
- Zambrana, A. (2016). “*La Tatora, la planta sagrada de los Urus*”. FUNPROEIB Andes. 1era edición. <https://www.funproeibandes.org/wp-content/uploads/2024/07/TOTORA-imprenta.pdf>

ANEXOS

ANEXO 01: Matriz de consistencia.

Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Metodología
<p>General ¿Cómo remover metales pesados en relaves mineros mediante la aplicación de <i>Schoenoplectus californicus</i>?</p> <p>Específicos ¿Qué metales pesados están presentes en el relave minero de oro?</p> <p>¿Puede aplicarse <i>Schoenoplectus californicus</i> en la remoción de metales pesados en el relave minero de oro?</p> <p>¿Cuál será la cantidad de remoción de los metales pesados del relave minero de oro?</p>	<p>General Remover metales pesados en relaves mineros mediante la aplicación de <i>Schoenoplectus californicus</i>.</p> <p>Específicos Identificar los metales pesados presentes en el relave minero de oro.</p> <p>Aplicar <i>Schoenoplectus californicus</i> en la remoción de metales pesados en el relave minero de oro.</p> <p>Cuantificar la remoción de los metales pesados del relave minero de oro.</p>	<p>General La aplicación de <i>Schoenoplectus californicus</i> permite la remoción de metales pesados en relaves mineros.</p>	<p>Tipo: Aplicada.</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Método: El método a usar será el Método Científico.</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Población: El relave minero que se obtuvo de la pequeña minería, de la zona sur del país.</p> <p>Muestra: La muestra será no probabilística de acuerdo con disponibilidad y conveniencia. Se tomaron 32 kg de relave minero de oro</p> <p>Técnicas: El instrumento para la técnica documental será la de los resultados de medición del laboratorio sobre las concentraciones de los metales pesados. Para la técnica de observación se utilizará el instrumento de guía de observación elaborado por mi persona.</p>

ANEXO 02: Límites máximos permisibles para la actividad minera (MINAM).

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

ANEXO 03: Estándares de calidad ambiental para suelo (MINAM).

ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO				
Parámetros en mg/kg PS ²	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(7) y (8)}
	Suelo Agrícola ⁽³⁾	Suelo Residencial/ Parques ⁽⁴⁾	Suelo Comercial ⁽⁵⁾ / Industrial/ Extractivo ⁽⁶⁾	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁽⁹⁾ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fración de hidrocarburos F1 ⁽¹¹⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F2 ⁽¹²⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F3 ⁽¹³⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁵⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMMA-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

ANEXO 04: Requisitos de calidad para el agua potable (INACAL).

Compuesto que afectan la calidad estética y organoléptica		
<u>Compuesto</u>	<u>Valor máximo recomendable</u>	<u>Valor máximo admisible</u>
<u>Turbiedad</u>		
Agua tratada con proceso de filtración	3 NTU	5 NTU
Agua sin proceso de filtración	---	15 NTU
- Color verdadero	---	15 UC
- Olor y sabor	Inofensivo a la mayoría de los consumidores	
- Residuos totales mg/l	500	1 000
- pH	6,5 - 8,5*	
- Dureza (CaCO ₃) mg/l	200	---
- Sulfatos (SO ₄)	250	400
- Cloruro (Cl) mg/l	250	600
- Fluoruro (F) mg/l		1,5
- Sodio (Na) mg/l		100
- Aluminio (Al) mg/l		0,2
- Cobre (Cu) mg/l		1,0
- Hierro (Fe) mg/l		0,3
- Manganeso (Mn) mg/l		0,1
- Calcio (Ca) mg/l	75	---
- Magnesio (Mg) mg/l	30	---
- Zinc (Zn) mg/l		5


NOTA: NTU unidades nefelométricas de turbidez
UC unidades de color
* Rango recomendable

ANEXO 05: Límites máximos permisibles de calidad del agua para consumo humano (DIGESA).

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS DE CALIDAD ORGANOLÉPTICA		
Parámetros	Unidad de medida	Límite máximo permisible
1. Olor	---	Aceptable
2. Sabor	---	Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
6. Conductividad (25°C)	$\mu\text{mho/cm}$	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L^{-1}	1 000
8. Cloruros	$\text{mg Cl}^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
9. Sulfatos	$\text{mg SO}_4^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
10. Dureza total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	500
11. Amoniaco	mg N L^{-1}	1,5
12. Hierro	mg Fe L^{-1}	0,3
13. Manganeso	mg Mn L^{-1}	0,4
14. Aluminio	mg Al L^{-1}	0,2
15. Cobre	mg Cu L^{-1}	2,0
16. Zinc	mg Zn L^{-1}	3,0
17. Sodio	mg Na L^{-1}	200

UCV = Unidad de color verdadero
UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

ANEXO 06: Certificados de calidad de agua (EMSA Puno).



Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno
Gerencia Operacional

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"


RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARCIALES

RED DE DISTRIBUCIÓN PUNO MES DE NOVIEMBRE Y DICIEMBRE DEL 2024

CARÁCTERÍSTICAS	UNIDAD	LMP (DS N°031- 2010-SA)	RED DE DISTRIBUCIÓN	
			TOTORANI	
			NOVIEMBRE 2024	DICIEMBRE 2024
ASPECTO	-	-	NORMAL	NORMAL
OLOR	-	ACEPTABLE	NINGUNO	NINGUNO
SABOR	-	ACEPTABLE	NINGUNO	NINGUNO
TURBIEDAD	NTU	5	0.84	0.92
PH	-	6.5- 8.5	6.20	6.46
COLOR	UCV – Pt-Cv	15	4.00	7
TEMPERATURA	°C	-	18.90	17.90
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µS/cm	1500	330	364
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	1000	165	182
SALINIDAD	ppt	-	0.165	0.182
DUREZA TOTAL	mg/L	500	126.72	131.88
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L	-	129.87	142.86
CLORUROS	mg/L	250	6.08	7.99
SULFATOS	mg/L	250	5	6
CALCIO	mg/L	-	74.28	77.86
MAGNESIO	mg/L	-	52.44	54.02
HIERRO TOTAL	mg/L	0,3	0.01	0.05
NITRATOS	mg/L	50,00	3.98	3.09
NITRITOS	mg/L	3,00	0.019	0.013
COBRE	mg/L	2,0	<0.01	<0.01
MANGANESO	mg/L	0,4	0.009	0.009
ALUMINIO	mg/L	0,2	0.012	0.009
ZINC	mg/L	3,0	<0.01	<0.01

OBSERVACIONES: El punto de muestreo fue realizado en Jr. Mariano H. Cornejo N°427, la cual corresponde a las redes de distribución de la fuente Totorani. La Urb. III Centenario corresponde a las redes de distribución de la fuente Totorani.

DICTAMEN: Todos los parámetros de control analizados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles referenciales para el agua de consumo humano.





Empresa Municipal de Saneamiento Básico de Puno
Gerencia Operacional

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARCIALES
RED DE DISTRIBUCIÓN PUNO MES DE ENERO Y FEBRERO DEL 2025

CARÁCTERÍSTICAS	UNIDAD	LMP (DS N°031- 2010-SA)	RED DE DISTRIBUCIÓN	
			TOTORANI	
			ENERO 2025	FEBRERO 2025
ASPECTO	-	-	NORMAL	NORMAL
OLOR	-	ACEPTABLE	NINGUNO	NINGUNO
SABOR	-	ACEPTABLE	NINGUNO	NINGUNO
TURBIEDAD	NTU	5	1.17	3.21
PH	-	6.5-8.5	6.32	6.41
COLOR	UCV – Pt-Cv	15	8.0	11
TEMPERATURA	°C	-	17.1	17.0
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	µS/cm	1500	311	304
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	1000	156	152
SALINIDAD	ppt	-	0.156	0.152
DUREZA TOTAL	mg/L	500	120.36	118.37
ALCALINIDAD TOTAL	mg/L	-	129.87	115.21
CLORUROS	mg/L	250	5.99	5.99
SULFATOS	mg/L	250	6	5
CALCIO	mg/L	-	63.95	58.39
MAGNESIO	mg/L	-	56.41	59.98
HIERRO TOTAL	mg/L	0,3	0.06	0.05
NITRATOS	mg/L	50,00	2.65	2.21
NITRITOS	mg/L	3,00	0.009	0.006
COBRE	mg/L	2,0	<0.01	<0.01
MANGANESO	mg/L	0,4	0.008	0.006
ALUMINIO	mg/L	0,2	0.008	0.006
ZINC	mg/L	3,0	<0.01	<0.01

OBSERVACIONES: El punto de muestreo fue realizado en Jr. Mariano H. Cornejo N°427, la cual corresponde a las redes de distribución de la fuente Totorani. La Urb. III Centenario corresponde a las redes de distribución de la fuente Totorani.

DICTAMEN: Todos los parámetros de control analizados, se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles referenciales para el agua de consumo humano.



ANEXO 07: Certificado de identificación de la especie de totora *Schoenoplectus californicus*.

CARTA N° 01- 2024-HH-UNAP

PARA : Bachiller Lucia Del Rosario Lopez Pinazo

DE : Dr. Hibert Huaylla Limachi
Docente Investigador Botánico-UNAP

ASUNTO : Certificación de identificación de *Schoenoplectus californicus*
(C.A.Mey.) Soják

FECHA : Puno, 26 diciembre del 2024

Me dirijo a Ud. respetuosamente y agradecer la donación de un ejemplares de muestras botánicas debidamente etiquetada, montadas, de la tesis en desarrollo "**REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN RELAVES MINEROS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TOTORA (SCHOENOPLECTUS CALIFORNICUS)**", de la bachiller Lucia Del Rosario Lopez Pinazo, de la escuela profesional de Ingeniería de Minas, de la Universidad Católica de Santa María, certificando la determinación de la especie *Schoenoplectus californicus* (C.A.Mey.) Soják.

Atentamente,

 Firmado digitalmente por HUAYLLA
LIMACHI Mario Hibert FRAJ
32146496170<u>u</u>
Número 309 el autor del documento
Fecha: 26.12.2024 14:00:04 -0500

Dr. Hibert Huaylla Limachi
Docente investigador botánico - UNAP

ANEXO 08: Resultados de la guía de observación del mes de noviembre.

GUIA DE OBSERVACION			GUIA DE OBSERVACION		
Nombre Científico	Schoenoplectus californicus	Fotografía 	Nombre Científico	Schoenoplectus californicus	Fotografía 
Nombre Común	Totora		Nombre Común	Totora	
Familia Botánica	Schoenoplectus		Familia Botánica	Schoenoplectus	
Fecha	15/11/2024		Fecha	15/11/2024	
Hora	19:00		Hora	19:05	
Lugar	Ciudad de Puno		Lugar	Ciudad de Puno	
Características Morfológicas			Características Morfológicas		
Tallo	Erecto y cilíndrico	Tallo	Erecto y cilíndrico		
Longitud	1.3 m	Longitud	1.3 m		
Color	Verde claro	Color	Verde claro		
Floración	No presenta	Floración	No presenta		
Condiciones del Entorno		Condiciones del Entorno			
Tipo Suelo	Relave	Tipo Suelo	Relave		
Presencia Agua	Si, agua suficiente	Presencia Agua	Si, agua suficiente		
Clima	Temperatura baja	Clima	Temperatura baja		
Observaciones Especiales		Observaciones Especiales			
Estado Salud	Buen estado de la planta, sin daños visibles	Estado Salud	Buen estado de la planta, sin daños visibles		

GUIA DE OBSERVACION

Nombre Científico Schoenoplectus californicus
Nombre Común Totora
Familia Botánica Schoenoplectus
Fecha 15/11/2024
Hora 19:10
Lugar Ciudad de Puno

Características Morfológicas

Tallo Recto y cilíndrico
Longitud 1.3 m
Color Verde claro
Floración No presenta

Condiciones del Entorno

Tipo Suelo Relave
Presencia Agua Si, agua suficiente
Clima Temperatura baja

Observaciones Especiales

Estado Salud Buen estado de la planta, sin daños visibles

Fotografía



GUIA DE OBSERVACION

Nombre Científico Schoenoplectus californicus
Nombre Común Totora
Familia Botánica Schoenoplectus
Fecha 15/11/2024
Hora 19:15
Lugar Ciudad de Puno

Características Morfológicas

Tallo Semi erecto y cilíndrico
Longitud 1.3 m
Color Verde claro
Floración No presenta

Condiciones del Entorno

Tipo Suelo Relave
Presencia Agua Si, agua suficiente
Clima Temperatura baja

Observaciones Especiales

Estado Salud Buen estado de la planta, sin daños visibles

Fotografía



ANEXO 09: Resultados de la guía de observación del mes de diciembre.

GUIA DE OBSERVACION			GUIA DE OBSERVACION	
Nombre Científico	Schoenoplectus californicus	Fotografia	Nombre Científico	Schoenoplectus californicus
Nombre Comun	Totora		Nombre Comun	Totora
Familia Botanica	Schoenoplectus	Fotografia	Familia Botanica	Schoenoplectus
Fecha	15/12/2024		Fecha	15/12/2024
Hora	17:15		Hora	17:20
Lugar	Ciudad de Puno		Lugar	Ciudad de Puno
Caracterisiticas Morfológicas			Caracterisiticas Morfológicas	
Tallo	Erecto y cilindrico		Tallo	Semi erecto y cilindrico
Longitud	1.3 m		Longitud	1.3 m
Color	Verde claro		Color	Verde claro y amarillo
Floracion	No presenta		Floracion	No presenta
Condiciones del Entorno			Condiciones del Entorno	
Tipo Suelo	Relave		Tipo Suelo	Relave
Presencia Agua	Si, agua suficiente		Presencia Agua	Si, agua suficiente
Clima	Temperatura baja		Clima	Temperatura baja
Observaciones Especiales			Observaciones Especiales	
Estado Salud	La mayoría de los tallos presentan un buen estado, algunos tienen coloracion amarilla en la punta		Estado Salud	Los tallos de la planta ya no estan erectos y algunos estan amarillos

GUIA DE OBSERVACION

Nombre Científico Schoenoplectus californicus
Nombre Común Totora
Familia Botánica Schoenoplectus
Fecha 15/12/2024
Hora 17:25
Lugar Ciudad de Puno

Características Morfológicas

Tallo Erecto y cilíndrico
Longitud 1.3 m
Color Verde claro
Floración No presenta

Condiciones del Entorno

Tipo Suelo Relave
Presencia Agua Sí, agua suficiente
Clima Temperatura baja

Observaciones Especiales

Estado Salud Buen estado de la planta,
solo algunos tallos están
amarillos

Fotografía



GUIA DE OBSERVACION

Nombre Científico Schoenoplectus californicus
Nombre Común Totora
Familia Botánica Schoenoplectus
Fecha 15/12/2024
Hora 17:30
Lugar Ciudad de Puno

Características Morfológicas

Tallo Semi erecto y cilíndrico
Longitud 1.3 m
Color Verde claro
Floración No presenta

Condiciones del Entorno

Tipo Suelo Relave
Presencia Agua Sí, agua suficiente
Clima Temperatura baja

Observaciones Especiales

Estado Salud Los tallos de la planta ya no
están erectos y algunos están
amarillos

Fotografía



ANEXO 10: Resultados de la guía de observación del mes de enero.

GUIA DE OBSERVACION			GUIA DE OBSERVACION	
Nombre Científico	Schoenoplectus californicus	Fotografia	Nombre Científico	Schoenoplectus californicus
Nombre Comun	Totora		Nombre Comun	Totora
Familia Botanica	Schoenoplectus		Familia Botanica	Schoenoplectus
Fecha	15/01/2025		Fecha	15/01/2025
Hora	13:50		Hora	13:55
Lugar	Ciudad de Puno		Lugar	Ciudad de Puno
Caracterisiticas Morfológicas			Caracterisitica Morfológicas	
Tallo	Erecto y cilindrico		Tallo	Semi erecto y cilindrico
Longitud	1.31 m		Longitud	1.30 m
Color	Verde claro		Color	Verde claro y amarillo
Floracion	No presenta		Floracion	No presenta
Condiciones del Entorno			Condiciones del Entorno	
Tipo Suelo	Relave		Tipo Suelo	Relave
Presencia Agua	Si, agua suficiente		Presencia Agua	Si, agua suficiente
Clima	Temperatura baja		Clima	Temperatura baja
Observaciones Especiales			Observaciones Especiales	
Estado Salud	La mayoría de los tallos presentan un buen estado, algunos tienen coloración amarilla en la punta, las raíces siguen creciendo		Estado Salud	Los tallos de la planta ya no están erectos y algunos están amarillos, las raíces siguen creciendo



GUIA DE OBSERVACION

Nombre Científico Schoenoplectus californicus
Nombre Comun Totora
Familia Botanica Schoenoplectus
Fecha 15/01/2025
Hora 14:00
Lugar Ciudad de Puno

Características Morfológicas

Tallo Semi erecto y cilíndrico
Longitud 1.3 m
Color Verde claro y amarillo
Floración No presenta

Condiciones del Entorno

Tipo Suelo Relave
Presencia Agua Si, agua suficiente
Clima Temperatura baja

Observaciones Especiales

Estado Salud La mayoría de los tallos de la planta ya no están erectos, y algunos están amarillos, las raíces siguen creciendo

Fotografía



GUIA DE OBSERVACION

Nombre Científico Schoenoplectus californicus
Nombre Comun Totora
Familia Botanica Schoenoplectus
Fecha 15/01/2025
Hora 14:05
Lugar Ciudad de Puno

Características Morfológicas

Tallo Semi erecto y cilíndrico
Longitud 1.30 m
Color Verde claro y amarillo
Floración Si presenta, en algunos tallos

Condiciones del Entorno

Tipo Suelo Relave
Presencia Agua Si, agua suficiente
Clima Temperatura baja

Observaciones Especiales

Estado Salud La mayoría de los tallos de la planta ya no están erectos, y algunos están amarillos, las raíces siguen creciendo

Fotografía



ANEXO 11: Resultados de la guía de observación del mes de marzo.

GUIA DE OBSERVACION			GUIA DE OBSERVACION		
Nombre Cientifico	Schoenoplectus californicus	Fotografia 	Nombre Cientifico	Schoenoplectus californicus	Fotografia 
Nombre Comun	Totora		Nombre Comun	Totora	
Familia Botanica	Schoenoplectus		Familia Botanica	Schoenoplectus	
Fecha	15/03/2025		Fecha	15/03/2025	
Hora	17:05		Hora	17:10	
Lugar	Ciudad de Puno		Lugar	Ciudad de Puno	
Caracterisiticas Morfologicas			Caracterisiticas Morfologicas		
Tallo	Erecto y cilindrico	Tallo	Semi erecto y cilindrico		
Longitud	1.32 m	Longitud	1.31 m		
Color	Verde claro y amarillo	Color	Verde claro y amarillo		
Floracion	No presenta	Floracion	No presenta		
Condiciones del Entorno		Condiciones del Entorno			
Tipo Suelo	Relave	Tipo Suelo	Relave		
Presencia Agua	Si, agua suficiente	Presencia Agua	Si, agua suficiente		
Clima	Temperatura baja	Clima	Temperatura baja		
Observaciones Especiales		Observaciones Especiales			
Estado Salud	La mayoría de los tallos presentan un buen estado, algunos tienen coloración amarilla en la punta, las raíces siguen creciendo	Estado Salud	Los tallos de la planta ya no están erectos, y algunos están amarillos completamente o en la punta, las raíces siguen creciendo		

GUIA DE OBSERVACION

Nombre Cientifico Schoenoplectus californicus
Nombre Comun Totora
Familia Botanica Schoenoplectus
Fecha 15/03/2025
Hora 17:15
Lugar Ciudad de Puno

Características Morfológicas

Tallo Erecto y cilíndrico
Longitud 1.31 m
Color Verde claro
Floración Si presenta, en algunos tallos

Condiciones del Entorno

Tipo Suelo Relave
Presencia Agua Si, agua suficiente
Clima Temperatura baja

Observaciones Especiales

Los tallos de la planta ya no están erectos y algunos están amarillos completamente o en la punta, las raíces siguen creciendo

Fotografía



GUIA DE OBSERVACION

Nombre Cientifico Schoenoplectus californicus
Nombre Comun Totora
Familia Botanica Schoenoplectus
Fecha 15/03/2025
Hora 17:20
Lugar Ciudad de Puno

Características Morfológicas

Tallo Semi erecto y cilíndrico
Longitud 1.31 m
Color Verde claro
Floración Si presenta, en algunos tallos

Condiciones del Entorno

Tipo Suelo Relave
Presencia Agua Si, agua suficiente
Clima Temperatura baja


Observaciones Especiales

Los tallos de la planta ya no están erectos, la mayoría están amarillos, las raíces siguen creciendo

Fotografía





ANEXO 12: Resultados de laboratorio con la técnica ICP - OES, de la primera muestra.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
 ✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1359
 AREQUIPA - PERU

INFORME DE ENSAYO N° ANA25J24.005465

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José S/N Umacollo Campus Universitario
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Lucia del Rosario López Pinazo
Descripción de la muestra : Relave Minero

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 50 g
Fecha de recepción : 25/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 25/10/2024 al 31/10/2024
Fecha de emisión de informe : 06/11/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:
 DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Estroncio, Fósforo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Silice, Sodio, Azufre, Talio, Titanio, Vanadio, Zinc) Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/Kg	7,58
Al	mg/Kg	831,36
As	mg/Kg	53,03
B	mg/Kg	209,09
Ba	mg/Kg	72,73
Be	mg/Kg	13,64
Ca	mg/Kg	5798,48
Cd	mg/Kg	9,09
Co	mg/Kg	18,18
Cr	mg/Kg	25,76
Cu	mg/Kg	277,27
Fe	mg/Kg	112,12
K	mg/Kg	21045,45
Li	mg/Kg	330,30
Mg	mg/Kg	546,97
Mn	mg/Kg	415,15
Mo	mg/Kg	174,24
Na	mg/Kg	1915,15
Ni	mg/Kg	15,15
P	mg/Kg	631,82
Pb	mg/Kg	6,06
Sb	mg/Kg	12,12
Se	mg/Kg	39,39

Código: LECC-15INF-002F ED.01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/206 ☎ + 51 54 352008 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 1 Apto. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA25J24.005465

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Católica de Santa María
Dirección del cliente : Urb San José S/N Umacollo Campus Universitario
RUC : 20141637941
Identificación del contacto : Lucia del Rosario López Pinazo
Descripción de la muestra : Relave Minero


INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 50 g
Fecha de recepción : 25/10/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 25/10/2024 al 31/10/2024
Fecha de emisión de informe : 06/11/2024
Página : 2 de 2

Si	mg/Kg	36590,91
Sn	mg/Kg	6,06
Sr	mg/Kg	95,45
Ti	mg/Kg	1,52
Tl	mg/Kg	1,52
V	mg/Kg	3,03
Zn	mg/Kg	163,64

OBSERVACIONES:


- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad


Q.F. Ricardo A. Abril Ramírez
CQFDA 00624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

ANEXO 13: Resultados de laboratorio con la técnica ICP - OES, de la segunda muestra.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umecollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
 ✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apdo. 1350
 AREQUIPA - PERÚ

INFORME DE ENSAYO N° ANA16L24.005519

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Lucia del Rosario López Pinazo
Dirección del cliente : Urb Paisajista Chilina A-12 Yanahuara
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Lucia del Rosario López Pinazo
Descripción de la muestra : Relave Minero

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 50 g
Fecha de recepción : 16/12/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/12/2024 al 19/12/2024
Fecha de emisión de informe : 20/12/2024
Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:
 DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Estroncio, Fósforo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sílice, Sodio, Azufre, Talio, Titanio, Vanadio, Zinc) Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/Kg	3,33
Al	mg/Kg	4075,00
As	mg/Kg	40,83
B	mg/Kg	83,33
Ba	mg/Kg	85,83
Be	mg/Kg	8,67
Ca	mg/Kg	654,17
Cd	mg/Kg	0,00
Co	mg/Kg	3,33
Cr	mg/Kg	8,33
Cu	mg/Kg	170,83
Fe	mg/Kg	153,33
K	mg/Kg	20316,67
Li	mg/Kg	300,00
Mg	mg/Kg	195,00
Mn	mg/Kg	530,00
Mo	mg/Kg	55,00
Na	mg/Kg	2335,83
Ni	mg/Kg	49,17
P	mg/Kg	505,83
Pb	mg/Kg	5,00
Sb	mg/Kg	19,17
Se	mg/Kg	28,33

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 302030 ANEXO 1166
✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 <http://www.ucsm.edu.pe> 📄 Aprto. 1300
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA16L24.005519

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Lucia del Rosario López Pinazo
Dirección del cliente : Urb Paisajista Chilina A-12 Yanahuara
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Lucia del Rosario López Pinazo
Descripción de la muestra : Relave Minero

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 50 g
Fecha de recepción : 16/12/2024
Fecha de ejecución de ensayo : 16/12/2024 al 19/12/2024
Fecha de emisión de informe : 20/12/2024
Página : 2 de 2

Si	mg/Kg	1161666,67
Sn	mg/Kg	5,00
Sr	mg/Kg	45,00
Ti	mg/Kg	3,33
Tl	mg/Kg	2,50
V	mg/Kg	0,83
Zn	mg/Kg	157,50

OBSERVACIONES:


- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



Q.F. Ricardo A. Adri Ramírez
CQFDA-0024
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC


Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

ANEXO 14: Resultados de laboratorio con la técnica ICP - OES, de la tercera muestra.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 84 382038 ANEXO 1106
 ✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apdo. 1350
 AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA20A25.005536

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Lucia del Rosario López Pinazo
 Dirección del cliente : Urb San José S/N Umacollo Campus Universitario
 RUC : No corresponde
 Identificación del contacto : Lucia del Rosario López Pinazo
 Descripción de la muestra : Relave Minero

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
 Tamaño de muestra : 50 g
 Fecha de recepción : 20/01/2025
 Fecha de ejecución de ensayo : 20/01/2025 al 27/01/2025
 Fecha de emisión de informe : 27/01/2025
 Página : 1 de 2

I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:
 DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Estroncio, Fósforo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Sílice, Sodio, Azufre, Talio, Titanio, Vanadio, Zinc) Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/Kg	2,00
Al	mg/Kg	4220,00
As	mg/Kg	32,00
B	mg/Kg	38,00
Ba	mg/Kg	68,00
Be	mg/Kg	14,00
Ca	mg/Kg	572,00
Cd	mg/Kg	4,00
Co	mg/Kg	8,00
Cr	mg/Kg	0,00
Cu	mg/Kg	172,00
Fe	mg/Kg	358,00
K	mg/Kg	10040,00
Li	mg/Kg	186,00
Mg	mg/Kg	186,00
Mn	mg/Kg	106,00
Mo	mg/Kg	0,00
Na	mg/Kg	110,00
Ni	mg/Kg	24,00
P	mg/Kg	398,00
Pb	mg/Kg	12,00
Sb	mg/Kg	22,00
Se	mg/Kg	16,00

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1168
✉ laboratorioensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA20A25.005536

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Lucia del Rosario López Pinazo
Dirección del cliente : Urb San José S/N Umacollo Campus Universitario
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Lucia del Rosario López Pinazo
Descripción de la muestra : Relave Minero

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 50 g
Fecha de recepción : 20/01/2025
Fecha de ejecución de ensayo : 20/01/2025 al 27/01/2025
Fecha de emisión de informe : 27/01/2025
Página : 2 de 2

Si	mg/Kg	267000,00
Sn	mg/Kg	10,00
Sr	mg/Kg	44,00
Ti	mg/Kg	4,00
Tl	mg/Kg	4,00
V	mg/Kg	2,00
Zn	mg/Kg	228,00

OBSERVACIONES:


- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo.
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Abril Ramirez
COFDA 00424
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD LECC





Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

ANEXO 15: Resultados de laboratorio con la técnica ICP - OES, de la cuarta muestra.



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD
 Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
 ✉ laboratoriodensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Actdo: 1350
 AREQUIPA - PERÚ

INFORME DE ENSAYO N° ANA24C25.5616

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Lucia del Rosario López Pinazo
Dirección del cliente : Urb. San José S/N Umacollo Campus Universitario
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Lucia del Rosario López Pinazo
Descripción de la muestra : Relave minero

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 50 g
Fecha de recepción : 24/03/2025
Fecha de ejecución de ensayo : 24/03/2025 al 31/03/2025
Fecha de emisión de informe : 01/04/2025
Página : 1 de 2

DETERMINACIÓN DE METALES TOTALES (adaptado) Aluminio, Antimonio, Arsénico, Boro, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Estroncio, Fósforo, Hierro, Litio, Magnesio, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Plata, Plomo, Potasio, Selenio, Silice, Sodio, Azufre, Talio, Titanio, Vanadio, Zinc)
 Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry EPA METHOD 200.7 Revisión 4.4

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
Ag	mg/Kg	0,175
Al	mg/Kg	501,000
As	mg/Kg	74,350
B	mg/Kg	0,200
Ba	mg/Kg	3,400
Be	mg/Kg	0,225
Ca	mg/Kg	1460,750
Cd	mg/Kg	0,000
Co	mg/Kg	1,850
Cr	mg/Kg	3,575
Cu	mg/Kg	19,475
Fe	mg/Kg	> 1000
K	mg/Kg	138,125
Li	mg/Kg	6,675
Mg	mg/Kg	837,250
Mn	mg/Kg	65,750
Mo	mg/Kg	2,100
Na	mg/Kg	36,575
Ni	mg/Kg	3,275
P	mg/Kg	51,225
Pb	mg/Kg	6,800

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO 16-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📍 Aptdo. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO N° ANA24C25.5616

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Lucia del Rosario López Pinazo
Dirección del cliente : Urb. San José S/N Umacollo Campus Universitario
RUC : No corresponde
Identificación del contacto : Lucia del Rosario López Pinazo
Descripción de la muestra : Relave minero

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente
Tamaño de muestra : 50 g
Fecha de recepción : 24/03/2025
Fecha de ejecución de ensayo : 24/03/2025 al 31/03/2025
Fecha de emisión de informe : 01/04/2025
Página : 2 de 2

Sb	mg/Kg	16,175
Se	mg/Kg	0,175
Si	mg/Kg	158,150
Sn	mg/Kg	1,825
Sr	mg/Kg	8,825
Ti	mg/Kg	3,200
Tl	mg/Kg	0,625
V	mg/Kg	1,350
Zn	mg/Kg	19,750

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo,
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió,
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce, Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad

Q.F. Ricardo A. Boni Ramirez
COFDA 06624
ESPECIALISTA EN CONTROL DE
CALIDAD LECC



Código: LECC-15\INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

ANEXO 16: Fotografías del procesamiento de la muestra inicial, por el método del cuarteo.



ANEXO 17: Fotografías de la recolección de muestras de totora en el lago Titicaca.



ANEXO 18: Fotografías para la certificación de la especie de totora *Schoenoplectus californicus*.



ANEXO 19: Fotografías de la plantación de totora en el relave minero.



ANEXO 20: Fotografías del procesamiento de las muestras después de plantar la totora.

