



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

**Evaluación de la remoción de metales pesados
mediante Cortaderia selloana en el río Livitaca,
Chumbivilcas – Cusco, 2023**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

AUTORES

Stefhany Vilma ACUÑA BARZOLA
Aldo Bernardo CABANILLAS ASTACIE

ASESOR

Dr. Jorge Luis LÓPEZ BULNES

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Acuña, S. & Cabanillas, A. (2025). *Evaluación de la remoción de metales pesados mediante Cortaderia selloana en el río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Stefhany Vilma Acuña Barzola
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71319760
URL de ORCID	No aplica
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Aldo Bernardo Cabanillas Astacie
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	75610562
URL de ORCID	No aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jorge Luis López Bulnes
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08153969
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-9583-1143
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Martha Kelly Avilés Pavón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41449368
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Alex Segundino Armas Blancas

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07568033
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Augusto Guillermo Bravo Malca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06016801
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.1. Remediación de agua, aire y suelo
Grupo de investigación	Medio Ambiente y Tecnologías Limpias - MATL
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Cusco Provincia: Chumbivilcas Distrito: Chamaca Centro poblado: Comunidad campesina Uchuccarco Latitud: -14.388217 Longitud: -71.799026
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023
URL de disciplinas OCDE	Biorremediación, Biotecnologías de diagnóstico en la gestión ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.08.02



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En el Salón de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; el día 13 de junio del año 2025, siendo las 14:30 horas, en presencia de los señores docentes designados como miembros del Jurado Calificador:

Mg. MARTHA KELLY AVILÉS PAVÓN

(Presidente del Jurado)

Mg. ALEX SEGUNDINO ARMAS BLANCAS

(Miembro del Jurado)

Mg. AUGUSTO GUILLERMO BRAVO MALCA

(Miembro del Jurado)

Reunidos para el acto académico público de colación de los Tesistas Bachilleres STEFHANY VILMA ACUÑA BARZOLA Y ALDO BERNARDO CABANILLAS ASTACIE quienes sustentaran la Tesis Titulada: **"EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS MEDIANTE CORTADERIA SELLOANA EN EL RÍO LIVITACA, CHUMBIVILCAS – CUSCO, 2023"** para la obtención del Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Los miembros del Jurado, escuchada la sustentación respectiva, plantearon a los graduandos las observaciones pertinentes, que fueron absueltas:

A. SATISFACCIÓN

El Jurado procedió a la calificación, cuyo resultado fue:

DIECIOCHO (18)

Habiendo sido aprobada la Sustentación de Tesis por el Jurado Calificador, el Presidente recomienda que la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, proponga se le otorgue el TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL a los Bachilleres **STEFHANY VILMA ACUÑA BARZOLA Y ALDO BERNARDO CABANILLAS ASTACIE**.

Siendo las 15:30 horas se dio por concluido el acto académico, expidiéndose dos (02) Actas Originales de la Sustentación de la Tesis.

Lima, 13 de junio del 2025


MG. MARTHA KELLY AVILÉS PAVÓN
PRESIDENTE DEL JURADO


Mg. ALEX SEGUNDINO ARMAS BLANCAS
MIEMBRO DE JURADO


MG. AUGUSTO GUILLERMO BRAVO MALCA
MIEMBRO DE JURADO


Dr. JORGE LUIS LÓPEZ BULNES
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

Anexo 1

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Jorge Luis López Bulnes en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental Resolución Decanal N°000056-2024-D-FIGMMG/UNMSM de la tesis cuyo título es **“Evaluación de la remoción de metales pesados mediante Cortaderia Selloana en el río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023”**, presentado por los bachilleres Stefhany Vilma Acuña Barzola y Aldo Bernardo Cabanillas Astacie para optar el grado de título de Ingeniero Ambiental.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 19 % de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado de título de Ingeniero Ambiental.

Lima, 20 de mayo de 2025

Firma del Asesor

Nombres y apellidos del asesor: Jorge Luis López Bulnes

DNI: 08153969

Según corresponda: bachiller, magíster, doctor; título profesional o título de segunda especialidad

La vigencia del presente certificado corresponde a un período de noventa (90) días desde la fecha de su emisión; siempre que no haya observaciones en el texto durante el proceso de revisión por el jurado informante o surja alguna contingencia.

DEDICATORIA

Para nuestros estimados progenitores, cuyo afecto sin límites y respaldo permanente han representado la fuente principal de motivación y vigor. Este logro es un tributo a su sacrificio y dedicación. Gracias eternas.

AGRADECIMIENTO

Manifiesto mi profundo reconocimiento a nuestro asesor de investigación debido a su asesoría especializada, soporte permanente y compromiso incansable. Su sabiduría y guía fueron fundamentales para la consecución exitosa del trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO I.....	11
1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Planteamiento del problema	12
1.2.1 Determinación de problema	12
1.2.2 Formulación del problema.....	15
1.3 Objetivos.....	16
1.3.1 Objetivo general	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
1.4 Importancia y alcance la investigación.....	16
1.4.1 Justificación de la investigación	17
CAPÍTULO II.....	19
2. Marco teórico.....	19
2.1 Antecedentes de la investigación.....	19
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	19
2.1.2 Antecedentes internacionales	21
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1. <i>Cortaderia selloana</i>	23

2.2.2. Metales pesados	26
2.2.3. Fitorremediación.....	28
2.2.4. Sedimento	30
2.2.5. Eficiencia	31
CAPÍTULO III	32
3.1 Hipótesis y variables.....	32
3.1.1 Hipótesis general	32
3.1.2 Hipótesis específicas.....	32
3.2 Variables.....	32
3.2.1 Variable independiente	32
3.2.2 Variable dependiente	32
3.3 Operacionalización de variables	33
3.4 Matriz de consistencia	34
CAPÍTULO IV	35
4.1 Materiales y métodos.....	35
4.2. Población y muestra	37
4.2.1 Unidad de análisis.....	37
4.2.2 Universo de estudio	37
4.3 Área de estudio	38
4.3.1. Características del área de estudio.....	40
4.3 Tipo y diseño de investigación	42
4.4. Tamaño de la muestra.....	42
4.4.4 Selección de la muestra de sedimento	43
4.5 Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información ..	44
4.5.1 Procedimiento.....	44
4.5.2 Técnicas de recolección de información	45

4.5.3 Instrumentos de recolección de información.....	45
CAPÍTULO V	47
5.Resultados.....	47
5.1. Caracterización y textura de sedimentos	47
5.2. Concentración de metales tratados	49
5.2.1. Concentración de arsénico total.....	52
5.2.2. Concentración de bario total.....	53
5.2.3. Concentración de cadmio total	54
5.2.4. Concentración de calcio total	55
5.2.5. Concentración de circonio total.....	56
5.2.6. Concentración de cobalto total	57
5.2.7. Concentración de cobre total	58
5.2.8. Concentración de litio total.....	59
5.2.9. Concentración de manganeso total	60
5.2.10. Concentración de molibdeno total.....	61
5.2.11. Concentración de níquel total	62
5.2.12. Concentración de plata total	63
5.2.13. Concentración de selenio total.....	64
5.2.14. Concentración de thorio total	65
5.2.15. Concentración de Zinc total.....	66
5.3. Análisis estadístico inferencial	67
6. Discusión	76
7. Conclusiones y recomendaciones	79
7.1 Conclusiones.....	79
7.2. Recomendaciones	80
8. Referencias bibliográficas	82

ANEXOS	90
Anexo 1: Manual para la toma de muestra de sedimentos	90
Anexo 2: Informe de ensayo del muestreo inicial	92
Anexo 3: Registro fotográfico	93
Anexo 4: Cadena de custodia del monitoreo de suelos, sedimentos y lodo ...	98
Anexo 5: Informe de ensayo del muestreo por el periodo de 5, 10 y 15 días: Metales totales	99
Anexo 6: Informe de ensayo del muestreo por el periodo de 5, 10 y 15 días: Granulometría	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	25
Tabla 2.	33
Tabla 3.	34
Tabla 4.	48
Tabla 5.	49
Tabla 6.	68
Tabla 7.	70
Tabla 8.	70
Tabla 9.	71
Tabla 10.	71
Tabla 11.	72
Tabla 12.	73
Tabla 13.	74
Tabla 14.	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de <i>Cortaderia selloana</i> a nivel mundial.....	24
Figura 2. Clasificación según el Sistema de Raunkiaer	26
Figura 3. Ubicación y localización.....	39
Figura 4. Ficha de recolección de datos	46
Figura 5. Comportamiento de metales pesados – tipo 1.....	50
Figura 6. Comportamiento de metales pesados – tipo 2.....	51
Figura 7. Resultados de remoción del arsénico total.....	53
Figura 8. Resultados de remoción de bario total	54
Figura 9. Resultados de remoción del cadmio total	55
Figura 10. Resultados de remoción del calcio total.....	56
Figura 11. Resultados de remoción del circonio total	57
Figura 12. Resultados de remoción del cobalto total	58
Figura 13. Resultados de remoción del cobre total	59
Figura 14. Resultados de remoción de litio total.....	60
Figura 15. Resultados de remoción del manganeso total	61
Figura 16. Resultados de remoción del molibdeno total	62
Figura 17. Resultados de remoción del níquel total	63
Figura 18. Resultados de remoción de la plata total.....	64
Figura 19. Resultados de remoción del selenio total.....	65
Figura 20. Resultados de remoción del thorio total.....	66
Figura 21. Resultados de remoción del zinc total.....	67

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad de remoción de metales pesados mediante el uso de *Cortaderia selloana* en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, durante 2023. Se empleó un diseño experimental en el que se acondicionaron sedimentos contaminados con metales pesados, plantándose *Cortaderia selloana* y monitoreándose las concentraciones de contaminantes a los 5, 10 y 15 días. La muestra se seleccionó por conveniencia en el punto UTM 198139.38E 8407504.898N (19L), y las muestras fueron analizadas en el laboratorio SGS, acreditado por INACAL. Los resultados demostraron reducciones de concentración después del tercer periodo de los metales pesados como arsénico, bario, níquel, cobalto, selenio, cobre, circonio, manganeso, cadmio y zinc. Referente al litio, calcio, plata y molibdeno disminuyeron mayor concentración después del segundo periodo. El thorio disminuyó mayor concentración después de primer periodo. El análisis estadístico inferencial evidenció diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las concentraciones iniciales y finales, confirmando la hipótesis de que *Cortaderia selloana* favorece la remoción de metales pesados en sedimentos contaminados. Se concluyó que la aplicación de *Cortaderia selloana* es eficaz para reducir la concentración de metales pesados, logrando remociones promedio superiores al 25.62% en los elementos analizados, por lo que se propone su utilización como una estrategia natural y sostenible de fitorremediación en ecosistemas fluviales afectados por minería artesanal, contribuyendo a la mejora de la calidad ambiental y a la protección de la biodiversidad acuática en la región de Chumbivilcas.

Palabras clave: Remoción, metales pesados, *Cortaderia selloana*.

ABSTRACT

The objective of this research was to assess the capacity of *Cortaderia selloana* to remove heavy metals from the sediments of the Livitaca River, located in Chumbivilcas, Cusco, during the year 2023. An experimental design was employed, wherein sediments contaminated with heavy metals were conditioned, and *Cortaderia selloana* was planted. The concentrations of contaminants were monitored at intervals of 5, 10, and 15 days. The sample was conveniently selected at the point UTM 198139.38E 8407504.898N (Zone 19L), and the samples were analyzed at the SGS laboratory, accredited by INACAL. The results demonstrated reductions in the concentrations of heavy metals such as arsenic, barium, nickel, cobalt, selenium, copper, zirconium, manganese, cadmium, and zinc after the third monitoring period. Lithium, calcium, silver, and molybdenum showed significant decreases after the second period, while thorium exhibited the greatest reduction after the first period. Inferential statistical analysis revealed significant differences ($p < 0.05$) between initial and final concentrations, confirming the hypothesis that *Cortaderia selloana* facilitates the removal of heavy metals in contaminated sediments. It was concluded that the application of *Cortaderia selloana* is effective in reducing the concentration of heavy metals, achieving average removal rates exceeding 25.62% for the analyzed elements. Therefore, its use is proposed as a natural and sustainable phytoremediation strategy for fluvial ecosystems affected by artisanal mining, contributing to environmental quality improvement and the protection of aquatic biodiversity in the Chumbivilcas region.

Keywords: Removal, heavy metals, *Cortaderia selloana*

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La proliferación de *Cortaderia selloana* está estrechamente vinculada a las actividades humanas, ya que se establece preferentemente en hábitats ruderales antropogénicos de escaso valor ecológico, como excavaciones, bordes de caminos, pendientes, terrenos abandonados o zonas industriales (Liendo, Campos, y Alberto, 2023). Los metales pesados son componentes con características metálicas y una densidad específica mayor a 5 g cm^{-3} . Asimismo, desde la perspectiva de la salud humana, se estiman elementos posiblemente dañinos, incluyendo metales indispensables en pequeñas cantidades pero que resultan perjudiciales cuando su concentración se incrementa (Kahraman, 2020).

En las últimas dos décadas, la minería artesanal ha adquirido una importancia creciente en el Perú, tanto por su impacto en el desarrollo económico de diversas regiones como por los desafíos ambientales que ha generado (Manrique y Sanborn, 2021). Esta forma de minería, realizada a pequeña escala y muchas veces de manera informal, ha provocado una severa polución en las masas de agua ocasionada por descarga descontrolada de metales tóxicos como el Hg y el Pb (Mestanza et al., 2022). Estos metales, al ser vertidos directamente en ríos y lagos sin un tratamiento adecuado, han alterado la calidad del agua y han incrementado los niveles de toxicidad, comprometiendo no solo el bienestar de las comunidades cercanas, sino también la diversidad biológica de entornos acuáticos (Pabón, Benítez, Sarria, & Gallo, 2020).

La contaminación generada por la minería artesanal es especialmente preocupante en cuencas hidrográficas cercanas a áreas de intensa actividad extractiva, donde los efectos perjudiciales en el suelo y calidad del agua son evidentes (Red Muqui, 2024). La existencia de metales tóxicos en niveles elevados ha alterado estas masas de agua en fuentes de riesgo ambiental y sanitario, impactando tanto a las comunidades humanas como a la fauna que depende de estos ecosistemas (Gamboa, 2021).

Ante este panorama, la investigación propone evaluar la efectividad de *Cortaderia selloana*, una planta conocida por absorber y acumular metales pesados, como una solución viable de fitorremediación en el río Livitaca, ubicado en la provincia de Chumbivilcas, Cusco. A través de este estudio, se busca determinar si el uso de esta especie puede ayudar en la rehabilitación de las condiciones del agua y, en consecuencia, a la reducción del riesgo toxicológico en la región, ofreciendo una alternativa sostenible para mitigar las consecuencias ecológicas de la actividad minera artesanal.

La sección inicial está dedicada a la problemática, se establecen los objetivos, se expone la relevancia y el alcance de la investigación. El segundo apartado está dedicado a detallar el marco conceptual y los antecedentes que fundamentan el trabajo. En el tercer apartado se formulan las hipótesis, se identifican las variables, se explica su operacionalización y se presenta la matriz de consistencia. El cuarto apartado aborda los recursos y métodos empleados, la zona de estudio, el tipo y enfoque metodológico, población y muestra, además de procedimientos, instrumentos y técnicas implementados. Finalmente, el quinto apartado se enfoca en el análisis de los resultados, su interpretación, las conclusiones derivadas y las sugerencias para futuras investigaciones.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Determinación de problema

Durante dos décadas, la obtención de minerales a pequeña escala, particularmente a través de la minería manual, ha ganado cada vez más importancia en el contexto peruano, tanto desde un enfoque económico como sociocultural. Además, se observa un aumento considerado en la urgencia de abordar los desafíos asociados con esta práctica, como lo destacan diversos estudios. La mayor parte de las personas que intervienen en estas labores mineras, ya sean hombres, mujeres o niños, provienen de comunidades campesinas con recursos limitados (Chávez et al. 2023). En países como Bolivia, Colombia, Ecuador y otros, este grupo poblacional suele tener vínculos con regiones con una larga tradición en la minería a pequeña escala, aunque no necesariamente se dedican exclusivamente a esta actividad (Pachas, 2021). La minería artesanal incluye a los mineros formales, quienes ajustan sus procesos a los estándares

estatales e industriales. Estos trabajadores firman contratos de explotación, utilizan servicios bancarios, cumplen obligaciones fiscales y aplican buenas prácticas mineras, según investigaciones recientes (Trelles & Muñoz, 2020).

C. selloana, originaria de Sudamérica, se ha establecido de forma natural en diversas partes del mundo, destacando en regiones como Australia, Nueva Zelanda, Sudáfrica, América del Norte y Europa occidental. En esta última, ha invadido significativamente varios países, entre ellos Italia y la costa atlántica, incluyendo el Reino Unido, los Países Bajos, Bélgica, Francia, España y Portugal (Liendo, Campos, y Alberto, 2023). Conocida popularmente como hierba de las pampas, proviene de América del Sur. Es una especie ginodioica, caracterizada por la presencia de plantas hermafroditas que generan una cantidad limitada de semillas viables y funcionan principalmente como proveedoras de polen (Roldão, Marchante y Marchante, 2023). Es una gramínea de gran tamaño, ampliamente empleada en paisajismo debido al atractivo decorativo de sus voluminosas matas y altas inflorescencias, que ha llegado a convertirse en una especie invasora a nivel mundial. *C. selloana* utiliza principalmente la reproducción sexual como estrategia para expandirse y ocupar nuevos territorios, siendo capaz una sola planta de generar hasta 50 panículas, cada una con la capacidad de contener más de 100 mil semillas fértiles (Fagúndez y Sánchez, 2024). Al ser una planta invasora tiene la capacidad de desarrollarse muy rápidamente, además de que el clima alto andino le favorece para el desarrollo de la especie.

Es un concepto amplio que se emplea comúnmente para aludir a los metales y metaloides cuya densidad atómica supera los 4 g/cm³. Los metales pesados que no son esenciales y que resultan tóxicos para las plantas incluyen As, Cd, Cr, Co, Pb, Hg, Ni y V; mientras que otros, el Cu, el Fe, Mn y Zn, son indispensables su desarrollo (Aprile y De Bellis, 2020). Entre los elementos evaluados destacan los SO₄, Cr hexavalente, Mn, As, Cd, Cu, Pb, Hg, Zn, y Fe. En la Mina 1, los valores más relevantes incluyen concentraciones de manganeso que superaron los ECA, con un máximo de 0,816 mg/L en abril en el punto MW4. En Mina 2, los valores de sulfatos y manganeso también presentaron variaciones significativas. El diagnóstico se realizó en cuatro períodos del año (abril, junio, agosto y octubre), evaluando en cada caso las condiciones iniciales y los cambios bajo el cumplimiento de normativas como el D.S. N.º 010-2010-MINAM

(MINAM, 2022). Los residuos sólidos provenientes de minería no regulada, al ser vertidos en los cursos de agua en forma de metales tóxicos como el Hg y el Pb, generan una contaminación severa del agua con estos metales, según indican investigaciones recientes (Mantari y Pinchi, 2021). La emisión de metales nocivos, como el mercurio empleado en la minería a pequeña escala, impacta tanto el bienestar humano como el entorno natural, representando un grave problema que requiere atención inmediata. La contaminación en cuerpos de agua ha aumentado por actividades humanas intensivas, ya que los sedimentos absorben estos metales debido a su alta masa atómica y densidad. Posteriormente, los metales son liberados nuevamente al agua por procesos de movilización influenciados por factores ambientales (Novoa, Arizaca, y Huisa, 2022).

De acuerdo con estudios internacionales, millones de individuos a nivel global dependen de la minería artesanal y menor escala como significativa de sustento económico (Estrada, Huisa, y Ugarte, 2022). En cada región y en cada país, estos términos se han definido de varias maneras, pero con frecuencia es caracterizado por el volumen de empleados, el potencial productivo de una mina, su grado de automatización y la magnitud de las inversiones; se entiende que, numerosos cuerpos de agua situados en cuencas cercanas a áreas de actividad minera experimentan deterioros en su ecosistema acuático y calidad del suelo debido a su contaminación provocada por los desagües mineros (Quispealaya et al., 2020).

Las iniciativas mineras en Perú producen contaminación en los cuerpos hídricos debido a los desechos originados por las técnicas de flotación utilizadas durante el proceso metalúrgico de obtención de metales a partir de minerales. Este suceso agrava el nivel de polución en ríos, lagos, lagunas y el mar, que funcionan como receptáculos de los desechos residuales provenientes de la actividad humana (Quispe et al., 2019). La polución de los cuerpos de agua, manifestada en modificaciones en su composición fisicoquímica, se atribuye a altas concentraciones de metales pesados como Pb, Fe, Cu, Zn, As, Cr, Cd, Mg y más reactivos químicos asociados a los procesos mineros. Estos contaminantes, originados en la vegetación de tratamiento de minerales, no pueden ser remediados ni con técnicas biológicas ni químicas a corto plazo, lo que resulta en un nivel alarmante de toxicidad tanto para las personas como para los animales.

En la comunidad campesina de Uchuccarco, ubicada Chumbivilcas, Perú, la actividad minera representa una parte significativa de la economía local, aunque no está exenta de problemas. Aproximadamente el 13.1% de las personas responsables del hogar se ocupan a la minería formal, mientras que un 9% participa en la minería artesanal o informal. Esta última, aunque fuente importante de ingresos, frecuentemente conlleva desafíos significativos relacionados con la seguridad laboral, la estabilidad económica y el impacto ambiental. La minería informal, en particular, está asociada con menos regulaciones y puede contribuir a la degradación ambiental, lo que afecta los bienes naturales de los cuales depende la comunidad para otras actividades tradicionales como la agricultura. Además, estas actividades mineras, especialmente las informales, tienen como consecuencia que los relaves mineros acaben en el río Livitaca, exacerbando los problemas de contaminación y comprometiendo el bienestar de la biodiversidad acuática y de la comunidad que depende de este río para su sustento diario. La dicotomía entre la minería formal e informal en Uchuccarco resalta la urgencia de estrategias que armonicen el desarrollo económico junto con salvaguarda del legado ambiental y social de la comunidad (MINEM, 2023).

1.2.2 Formulación del problema

1.2.2.1 Problema general

¿Cuál es la capacidad de remoción de metales pesados de *Cortaderia selloana* en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?

1.2.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la textura en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?
- ¿Cuál es la concentración de metales pesados a los 5 días en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?
- ¿Cuál es la concentración de metales pesados a los 10 días en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?

- ¿Cuál es la concentración de metales pesados a los 15 días en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la capacidad de remoción de metales pesados de *Cortaderia selloana* en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la textura en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023, tratados con *Cortaderia selloana*.
- Evaluar la concentración de metales pesados a los 5 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.
- Evaluar la concentración de metales pesados a los 10 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.
- Evaluar la concentración de metales pesados a los 15 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.

1.4 Importancia y alcance la investigación

Es de gran importancia la gestión ambiental y protección de recursos hídricos en Perú. En Chumbivilcas, la contaminación del río Livitaca con metales pesados, como Pb, Hg y As, ha planteado serios problemas tanto para el bienestar de las poblaciones cercanas como para los ecosistemas acuáticos (MINAM, 2022). La creciente actividad minera en la zona ha intensificado la existencia de estos contaminantes, subrayando la necesidad urgente de desarrollar métodos efectivos para su remoción (Vilela, Espinosa, & Bravo, 2020).

El valor de este estudio reside en el *Cortaderia selloana* como instrumento de fitorremediación. Esta planta tiene el potencial de acumular y transformar metales pesados, ofreciendo una solución natural y sostenible para la remediación ambiental (Martínez, Sarmiento, & Bocardo, 2021). La instauración de esta metodología no solo pretende optimizar las condiciones del recurso hídrico en el río Livitaca, sino también resguardar el bienestar sanitario de la población y el ganado que utilizan esta agua, al disminuir los peligros vinculados con la exposición a estos contaminantes, como trastornos gastrointestinales y complicaciones neurológicas. Además, la eliminación de metales pesados ayudará a la preservación de sistemas ecológicos acuáticos, promoviendo la diversidad biológica y estabilidad del entorno.

El alcance de la investigación está delimitado al río Livitaca en la provincia de Chumbivilcas, Cusco, y se realizó a fines del año 2023 e inicios del año 2024. El estudio se enfocó en evaluar la eficacia de *Cortaderia selloana* para la remoción de metales pesados, considerando las condiciones climatológicas del lugar y concentraciones de contaminantes. Los descubrimientos de esta investigación poseen la capacidad de servir como un modelo replicable para otras regiones afectadas por la contaminación minera, tanto en Perú como en otros países con problemas similares. Además, contribuirán al conocimiento científico sobre fitorremediación y promoverán la adopción de tecnologías verdes en la gestión ambiental.

La investigación no solo ofrece una solución específica para el río Livitaca, sino que también fortalece la aptitud de los grupos sociales locales para enfrentar desafíos ambientales de manera autónoma y sostenible. Al aplicar una estrategia natural para remoción de metales pesados, busca reducir dependencia de técnicas químicas costosas y potencialmente dañinas, promoviendo así la sostenibilidad ambiental. En síntesis, el estudio remoción de metales pesados mediante *Cortaderia selloana* es fundamental para abordar un problema ambiental crítico en Chumbivilcas.

1.4.1 Justificación de la investigación

1.4.1.1 Justificación Teórica

Facilitó el progreso en las técnicas de fitorremediación de metales pesados en sedimentos fluviales, utilizando la remoción mediante bioacumulación, tolerancia en niveles elevados de agentes contaminantes y

producción de biomasa, especialmente en el río Livitaca. La información obtenida constituirá una base fundamental para futuros estudios orientados al uso de *Cortaderia selloana* como agente de remediación en áreas con características altoandinas.

1.4.1.2 Justificación Práctica

La remoción de metales pesados mediante *Cortaderia selloana* en el río Livitaca, Chumbivilcas, es una estrategia innovadora que busca mitigar la contaminación hídrica en una zona afectada por actividades mineras. El presente estudio adquiere relevancia al considerar el uso de una especie altoandina, presente en las cercanías de cuerpos de agua, cuya adaptabilidad y desarrollo son factibles en la zona. Esta característica permitió emplear una especie local para reducir la concentración de metales pesados en sedimentos.

1.4.1.3 Justificación Metodológica

Para evaluar la capacidad de *Cortaderia selloana* en remover metales pesados del río Livitaca, un ecosistema afectado por la contaminación minera en Chumbivilcas, Cusco. Se desarrollo mediante un diseño experimental, se extrajeron muestras de suelo con el propósito de determinar la magnitud de metales antes y después de la intervención. La investigación necesitó una ficha de recolección de datos, en toma de los valores encontrados por el laboratorio.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes nacionales

Martínez, Sarmiento y Bocardo (2021), tuvieron como propósito reconocer y describir especies vegetales autóctonas con capacidad para la fitorremediación de suelos altoandinos degradados por residuos de origen minero, ubicados en el distrito de Madrigal, provincia de Caylloma, región Arequipa, a una altitud de 3400 metros sobre el nivel del mar. El trabajo se llevó a cabo en una superficie de 27,000 m² compuesta por relaves mineros abandonados durante tres décadas por la empresa “El Madrigal”. Se definieron cinco áreas de muestreo (Primera, A, B, C y D), donde se extrajeron muestras de suelo hasta una profundidad de 30 centímetros y se evaluaron 22 elementos mediante espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), registrándose niveles elevados de metales pesados como arsénico (307,14 mg/kg), bario (15,892,86 mg/kg), mercurio (42,86 mg/kg), cadmio (21,43 mg/kg) y plomo (628,57 mg/kg), todos por encima de los límites establecidos por la normativa ambiental peruana. Se colectaron 639 ejemplares pertenecientes a 16 especies distribuidas en siete familias botánicas, identificadas mediante un muestreo sistemático estratificado y análisis taxonómico. Las especies predominantes fueron *Cortaderia jubata* (56,34 % del total), *Baccharis sp.*, *Stipa ichu*, *Juncus sp.* y *Eragrostis nigricans*, esta última hallada exclusivamente en la zona con mayor impacto por relaves. Los valores de los índices de Simpson (hasta 0,7131 en la zona C) y Pielou (hasta 0,8286) evidenciaron mayor diversidad y uniformidad en áreas más distantes de la fuente contaminante. Se concluye que estas especies poseen una notable tolerancia a los suelos contaminados y son aptas para su incorporación en técnicas de restauración ambiental, recomendándose profundizar en estudios que determinen su eficacia en la absorción de contaminantes.

Sanchez y Vilcas (2021) examinaron elementos pertinentes de la fitorremediación utilizando dos especies vegetales. Uso una metodología en un campo

experimental de 40 m² donde establecieron 9 unidades experimentales con una capacidad de 20L cada una. Las unidades fueron llenadas con grava y suelo y luego contaminadas artificialmente con plomo (642,8 mg/kg). Se implementaron tres tratamientos: T0 (Testigo), T1 (Brizanta) y T2 (Maíz), que fueron evaluados mediante tres repeticiones durante un período de cuatro meses utilizando un diseño completamente aleatorio. Las concentraciones de Pb en el suelo después de los tratamientos fueron las siguientes: La concentración de Pb de T1 fue de 270.9 mg/kg y 381.92 mg/kg, mientras que la concentración de T0 fue 481.17 mg/kg. De esta manera, las concentraciones de Pb en el suelo disminuyeron en T1 y T2, especialmente en el tratamiento con Brizanta. En conclusión, se encontró que el tratamiento T1 tuvo los resultados más sobresalientes en el proceso de fitorremediación, evidenciando una disparidad notable ($p > 0.05$) en comparación con T0 y alcanzando una eficiencia de eliminación del 43.7%. El T2, por otro lado, no evidenció variaciones relevantes al contrastar con el T0, pero aun así obtuvo una eficiencia de remoción de plomo del 20,6%.

Poma y Quiñonez (2022) aclararon cómo las modificaciones orgánicas con *Zea mays* L. ayudan a la recuperación botánica de terrenos contaminados con cadmio en Leonor Ordoñez, Jauja. La técnica, de naturaleza inductiva experimental y con un diseño cuasiexperimental, incluyó siete tratamientos diferentes y tres repeticiones utilizando vermicompost y compost en tres dosis diferentes: 5 %, 10 % y 20 %, además de un control, sobre 21 unidades experimentales con 2 kg de sustrato cada una. La metodología permitió un desarrollo vegetativo de 60 días. La concentración de Cd en la planta aumentó, particularmente con vermicompost, entre 6.94 y 13.79 mg/kg, y en el suelo aumentó, variando de 7.38 a 8.77 mg/kg. Además, FBC en las raíces aumentó significativamente de 0.59 a 1.23, y FT aumentó significativamente de 0.08 a 0.1, lo que fue notable en el tratamiento con compost. En cuanto a los hallazgos, el estudio descubrió que, contrariamente a lo que se esperaba, la aplicación de modificaciones orgánicas no brinda un beneficio significativo en el proceso de fitorremediación de *Zea mays* L. suelos con presencia de cadmio. El resultado destaca la importancia de investigar y experimentar con diversas técnicas y modificaciones en futuros estudios para determinar estrategias efectivas en fitorremediación de metales pesados en varios contextos y tipos de suelo.

Castañeda y Canchan (2023) se enfocaron en “explorar el impacto del uso de dos enmiendas orgánicas en la fitorremediación de Cd empleando maíz y girasol en suelos contaminados de Sincos”. Los objetivos estuvieron dirigidos a evaluar cómo estas plantas, en combinación con diferentes enmiendas (sin enmiendas, biochar y vermicompost), gestionan la acumulación de cadmio. Trabajaron con un diseño experimental, enfoque cuantitativo, tipo aplicado y completamente al azar con una distribución factorial de 2x3. Los resultados evidenciaron que los tratamientos que implicaban maíz sin aditivos, maíz con humus de lombriz (VC) y girasol con biochar (BC), evidenciaron una superior acumulación de Cd en la parte aérea de las plantas. La concentración de Cd en esta sección resultó considerablemente superior en comparación con las raíces en ambas especies de plantas. El factor de bioconcentración total destacó de forma notable en maíz con VC, maíz sin aditivos (SE), y girasol sin aditivos (SE). Adicionalmente, la altura de las plantas, en ambas especies, fue claramente beneficiada por la aplicación de biochar. La materia seca, tanto aérea como radicular, se manifestó considerablemente más abundante en maíz con VC en comparación con el girasol. Al culminar el experimento, el contenido de Cd exhibió una disminución del 53.154% con la implementación del tratamiento combinando girasol y biochar. En conclusiones, maíz y girasol fueron identificados como especies que excluyen y fitoestabilizan el cadmio en suelos contaminados, proporcionando datos cruciales que pueden informar estudios futuros sobre fitorremediación, como el actual sobre *Cortaderia selloana*.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Pérez (2021) investigó la capacidad adsorbente de la corona de maíz, específicamente carbonizada utilizando una técnica hidrotermal, para eliminar metales pesados (cobre, cadmio y plomo) de soluciones acuosas. La técnica utilizada incluyó la descripción de tres secciones distintas de la corona de maíz antes y después del proceso de carbonización, así como la realización de ensayos de adsorción que compararon la eficacia del material vegetal carbonizado con el carbón activado comercial. El análisis reveló que la muestra obtenida de la sección externa de la coronta de maíz tenía una capacidad de adsorción de metales superior en comparación con las otras secciones, mostrando un comportamiento similar al carbón activado. En términos cuantitativos, los metales se absorbieron en la secuencia $Pb > Cd > Cu$, y la eficiencia de

la corona carbonizada se registró en 99,1% para Pb, 69,1% para Cd y 61,4% para Cu, respectivamente. El pH ideal para la adsorción de Cu y Pb fue de 5, mientras que el pH ideal para Cd fue de 7. En términos de tiempo de contacto, tanto el carbón activado como el carbón carbonizado se equilibraron en dos horas. Pérez finalizó destacando el potencial prometedor en corona de maíz carbonizada para la adsorción de metales pesados, proponiendo líneas de investigación futuras para investigar variables adicionales y otros contextos aplicativos.

Mendes, Lizieri y Oliveira (2021) mencionan que, la fitorremediación implica el uso de plantas destinada a la remediación de entornos contaminados, tanto terrestres como acuáticos. Se investigaron dos especies de macrófitas acuáticas, *Spirodela polyrhiza* y *Ricciocarpus natans*, mediante pruebas controladas en entornos de laboratorio con el propósito de analizar su capacidad de eliminar Mn y Fe de soluciones acuosas. Las plantas de *S. polyrhiza* se expusieron a concentraciones de 10, 15, 20, 25 y 30 mg/L de Mn y Fe, mientras que *R. natans* se sometió a concentraciones de 1, 2, 6 y 18 mg/L de Fe. Se evidenció que *S. polyrhiza* logró eliminar el 34% del Mn y hasta el 80% del Fe presentes en la solución, aunque se observó una reducción en la biomasa y el contenido de clorofila. Por otro lado, *R. natans* removió hasta el 50% del Fe en concentraciones de 2, 6 y 18 mg/L, sin mostrar disminución en biomasa ni clorofila en ninguna de las concentraciones evaluadas, lo que evidencia su potencial prometedor para la fitorremediación de Fe. Es necesario realizar estudios en condiciones de campo para considerar las variables ambientales que afectan el proceso de remediación. No obstante, los hallazgos de este trabajo cooperan conocimientos significativos sobre la capacidad fitorremediadora de *S. polyrhiza* y *R. natans*.

Siyar et al., (2022) analizaron cincuenta plantas de cinco especies: *Launaea acanthodes*, *Artemisia sp.*, *Cousinia congesta*, *Peganum harmala* y *Stipa sp.*, que crecen cerca de una fundición y refinería en Irán, para identificar especies con potencial para fitoextracción y fitostabilización. Se analizaron las concentraciones de Pb, Ni, Mn, Mo, S y Cu en las plantas y en el suelo muestreado. Para evaluar los metales en raíces y brotes, se utilizaron tres índices de contaminación: índice de acumulación de metales (MAI), TF y BCF. Los resultados mostraron que *Artemisia sp.* es adecuada para la fitoextracción en la zona de estudio, con valores de 3.21, 1.09 y 1.14 para MAI, BCF y TF, respectivamente. Por otro lado, especies como *Launaea*

acanthodes y *Cousinia congesta* demostraron potencial para fitostabilización debido a su alto BCF y bajo TF. El análisis de los índices para diferentes elementos reveló que *Launaea acanthodes* presentó un BCF superior a 1 y un TF menor a 1, lo que sugiere su utilidad para la fitostabilización de arsénico. Además, se observó que el cobre tiene una biodisponibilidad muy baja en estas especies, pero todas las especies estudiadas mostraron una alta capacidad para acumular azufre del suelo, con índices BCF y TF mayores a 1; en el caso de *Launaea acanthodes*, el TF alcanzó un valor cercano a 10. Estas plantas nativas pueden aplicarse en proyectos prácticos de fitorremediación para la restauración de suelos afectados por contaminantes alrededor de fábricas y minas metálicas en el sureste de Irán.

Gonzalez et al., (2022) abordaron la contaminación creciente por metales pesados, en particular zinc y cobre, resaltando su acumulación en el medio ambiente y su toxicidad a altas concentraciones. Se sugiere la fitorremediación con especies vegetales nativas como solución económica y ecológica. El estudio evaluó seis especies en condiciones controladas, mostrando una supervivencia del 100% y variabilidad en la acumulación de metales. *T. minuta* y *S. punicea* destacaron por su capacidad de acumulación. Se identificó una preferencia por la acumulación de metales pesados en las raíces en la mayoría de las especies. Se concluye que estas especies pueden ser utilizadas en programas de remediación de suelos contaminados, ofreciendo una alternativa sostenible y efectiva a las tecnologías convencionales.

2.2 Bases teóricas

2.2.1. *Cortaderia selloana*

Universidad Pública de Navarra (2019) menciona que se trata de una especie vegetal de ciclo duradero que puede alcanzar una altura de 4 metros de altura con tallos floríferos. Sus hojas, llegan a medir 2 metros de largo, están agrupadas en grupos densos con bordes afilados. Sus inflorescencias tienen forma de plumas blancas y se agrupan en grandes panículas densas. Las espiguillas tienen de 3 a 4 flores unisexuales y tienen glumas lineales y lanceoladas en su interior.

Expansión de la especie

La especie botánica conocida como *Cortaderia selloana* es originaria de América del Sur, específicamente de países como Argentina, Chile, Brasil y Uruguay,

su hábitat abarca en zonas costeras hasta elevaciones de hasta 1900 m.s.n.m. No obstante, en las regiones donde ha sido introducida, como Europa, se observa principalmente en áreas de menor altitud (Lorenzo, 2020).

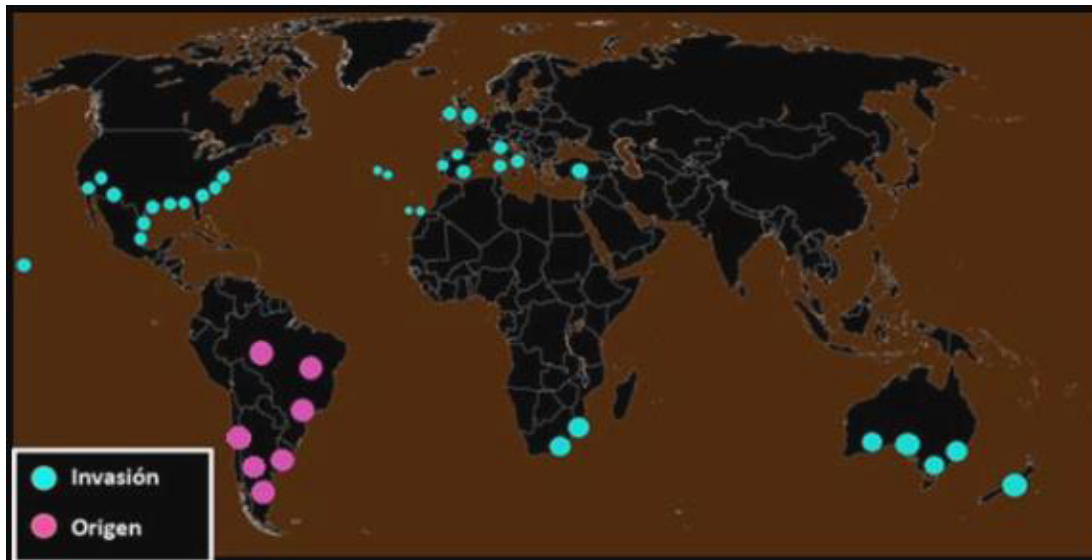


Figura 1. Distribución de *Cortaderia selloana* a nivel mundial

Nota. Tomado de “Integral management and ways of valorization for the *Cortaderia selloana* invasive plant in Cantabria”

Lorenzo (2020), menciona que, dentro de su hábitat natural en América del Sur, la *Cortaderia selloana* se encuentra mayormente terrenos con niveles de humedad moderados, en los arroyos y orillas de ríos, y en regiones de clima subtropical y semiárido. Su crecimiento predominante se observa en Argentina, abarcando tanto áreas costeras como las regiones montañosas de la cordillera andina, además de estar presente en zona central de Chile y en las costas del sur de Uruguay y Brasil.

Clasificación Taxonómica APG IV - 2016

Cortaderia selloana forma parte del grupo de las Angiospermas, específicamente dentro de las monocotiledóneas. Este grupo, considerado primitivo desde una perspectiva filogenética, abarca las características adaptativas propias tanto de las monocotiledóneas como de las eudicotiledóneas (Liendo, Campos, y Alberto, 2023). Las monocotiledóneas son un conjunto de plantas con flores se caracteriza por tener un único cotiledón en su embrión, a diferencia de las dicotiledóneas que cuentan con dos.

Tabla 1.

Información taxonómica

Clado	Angiospermas
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Cortaderia</i>
Especie	<i>Cortaderia selloana</i>

Nota. Tomado de Método de Evaluación Rápida de Invasividad (*Cortaderia selloana*)

La planta exhibe una disposición densa y agrupada, con una estructura dioica que forma macollos de aproximadamente 2 a 3 metros de diámetro, con culmos y láminas densamente agrupadas en sus bases. Se pueden encontrar individuos de ambos sexos, aunque ocasionalmente también se pueden hallar ejemplares bisexuales. Los tallos llegan a medir hasta tres metros de altura como máximo. Las hojas, dispuestas alternadamente, presentan vainas anchas y redondeadas que se estrechan en láminas largas y robustas de entre 3 y 10 mm de ancho y con una longitud de al menos 1 metro. Estas láminas exhiben márgenes dentados con pequeñas espinas y frecuentemente tienen pelos en la nervadura central, mientras que la lígula está formada por un denso conjunto de pelos de 3 a 5 mm de longitud. Las inflorescencias se presentan en forma de panículas densas de color blanco-plateado, que pueden medir entre 25 y 100 cm de longitud. Las espiguillas contienen entre 2 y 3 flósculos, los cuales se separan por encima de las glumas y entre ellos, siendo estas últimas delgadas, angostas, con una sola nervadura y con un extremo afilado. Los frutos, de forma ovalada y entre 1 y 1.5 cm de longitud, tienen un color café claro y permanecen en la planta incluso después de madurar.

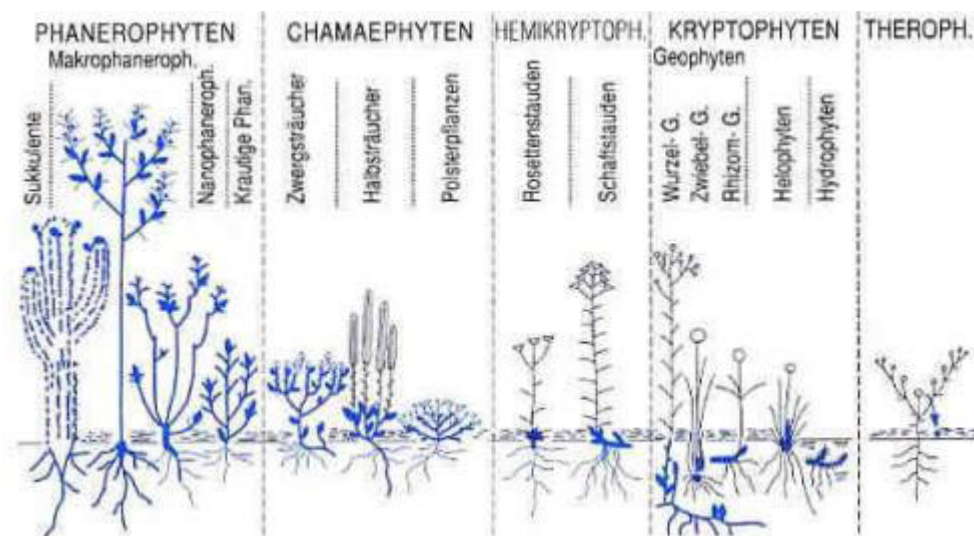


Figura 2. Clasificación según el Sistema de Raunkiaer

Nota. Tomado de la “Guía de identificación de *Cortaderia selloana*”

La *Cortaderia selloana* es una especie vegetal que crea una agrupación compacta de vegetación. De acuerdo con la categorización de Raunkiaer, se cataloga como una planta hemicriptófita con raíces robustas y profundas (Cingolani et al., 2022).

La fitorremediación utilizando *Cortaderia selloana* demostró que esta planta dispone de la habilidad con el propósito de minimizar la proporción de plomo en aguas contaminadas. Inicialmente, la concentración de plomo superaba los 0.002 mg/L, pero tras la aplicación de estos macrófitos en una proporción del 30%, la concentración se redujo a menos de 0.00143 mg/L. También, se notaron mejoras significativas en otros parámetros del agua: el pH se elevó de 6.75 a 7.73 y la conductividad eléctrica aumentó de 16.27 uS/cm a 28.33 uS/cm después de la intervención. Estos hallazgos sugieren que *Cortaderia selloana* influye positivamente en el incremento de la excelencia general del agua. A pesar de que su eficacia en la absorción de plomo sea comparativamente moderada, las evidencias apuntan a su utilidad en la remediación de aguas contaminadas, mostrando una repercusión positiva (De La Cruz et al., 2022).

2.2.2. Metales pesados

Se caracterizan en tener una densidad al menos cinco veces mayor que la del agua. Son obtenidos principalmente a partir de depósitos minerales y cumplen una

función fundamental en la elaboración de diversidad considerable en artículos empleados en la vida cotidiana. Sin embargo, una de sus particularidades es la incapacidad de biodegradarse, lo que contribuye a su acumulación en el medio ambiente. Se encuentran presentes en diversos artículos, como baterías, dispositivos electrónicos y pilas, destacándose como componentes clave en la tecnología moderna. A pesar de su utilidad, su persistencia en el entorno plantea riesgos ambientales y de salud, especialmente cuando no se gestionan adecuadamente los residuos que los contienen. Sin embargo, existen otras sustancias y actividades que actúan como metales pesados. Entre eso, están la quema de combustible fósiles, procedimientos industriales, pinturas con plomo y la incorrecta administración de los residuos metálicos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

- **Arsénico:** (As) elemento con propiedades carcinogénicas que provoca efectos tóxicos generalizados a través de diversos mecanismos de acción, afectando tanto el bienestar de las personas, así como el equilibrio de los ecosistemas a causa de su gran durabilidad en el medio ambiente (Morales, Lam, Segura, & Sánchez, 2021).
- **Cadmio:** Velásquez at al., (2022) hacen mención, de que se trata de uno de los elementos más tóxicos entre los metales pesados, cuya existencia en el entorno natural está asociada a la presencia de otros minerales, y cuya liberación al ambiente puede intensificarse debido a actividades industriales y mineras.
- **Cobre:** Es un mineral crucial para la preservación del bienestar. En este sentido, el organismo emplea el cobre para llevar a cabo diversas actividades esenciales, como la generación de energía, el desarrollo de estructuras conjuntivas y vasos sanguíneos. Además, este mineral tiene un papel indispensable en la conservación del sistema nervioso e inmunológico, la activación de genes y el desarrollo adecuado del cerebro. Asimismo, el cobre participa en la síntesis de hemoglobina, la regulación de enzimas antioxidantes y en procesos que favorecen el equilibrio metabólico general del cuerpo (National Institutes of Health, 2022).
- **Plomo:** Es conocido como un metal muy contaminante, y su uso mundial ha provocado serios problemas de contaminación, así como su uso en la industria. Además, este metal presenta un efecto acumulativo y tóxico que afecta de

manera adversa diversos sistemas del cuerpo humano, tales como los sistemas cardiovascular, hematológico, neurológico, digestivo y renal, generando consecuencias graves para el bienestar colectivo y la estabilidad ambiental.

- **Zinc:** El zinc es un nutriente indispensable para garantizar el mantenimiento óptimo de la salud. Asimismo, este elemento se encuentra en la totalidad de las células del organismo, donde cumple funciones vitales. Además de fortalecer el sistema inmunológico para combatir bacterias y virus invasores, también es esencial para la formación de ADN, que constituye el material hereditario celular, junto con la elaboración de proteínas. Asimismo, el zinc participa en la cicatrización de heridas, el progreso y la evolución óptima en la etapa infantil, adolescencia, y en la activación de más de 300 enzimas necesarias para diversos procesos metabólicos (National Institutes of Health, 2022).

2.2.3. Fitorremediación

Es caracterizada como una ecotecnología que se basa en la habilidad para tolerar, absorber, acumular y descomponer compuesto (Centro Multidisciplinario de Investigación Tecnológica, 2022). Numerosos países están implementando esta técnica con el fin de rehabilitar terrenos afectados por sustancias tanto orgánicas como inorgánicas. En contraste con fisicoquímicos, la fitorremediación ofrece múltiples ventajas significativas, costos económicos más reducidos, una mayor compatibilidad con los procesos naturales del suelo, y una aceptación más amplia en términos sociales y ambientales. Además, su carácter sostenible y su habilidad para mantener la configuración y biodiversidad del suelo la convierten en una alternativa prometedora frente a los enfoques convencionales (Silva et al., 2024).

Tipos de contaminantes

Contaminantes Orgánicos: Comprenden compuestos como PAH, PCB, dioxinas, hidrocarburos derivados del petróleo, solventes clorados, y compuestos aromáticos empleados en la elaboración de tintes, explosivos, fármacos, pesticidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), así como surfactantes, entre otros productos químicos.

Contaminantes Inorgánicos: Incorporan elementos como el cobalto, cromo y cobre, junto a no metales como el arsénico y boro, así como también radionúclidos

cobalto-60 y cesio-137. Algunos de estos elementos son clave en el alimento y desarrollo de los organismos vivos, y cumplen funciones vitales dentro de los procesos biológicos. No obstante, lo más preocupante de estos componentes se fundamenta en su concentración, forma química, y la duración en que permanezcan en el medio. Aumentando su concentración estos compuestos pueden ser nocivos para la ecología y la salud, afectando a los humanos y los recursos naturales.

Tipos de Fitorremediación

Su eficacia puede ajustarse a la química del suelo, la naturaleza de los contaminantes y las especies vegetales empleadas, así como en la flora y fauna involucradas. Su flexibilidad permite que sea aprovechada de distintas maneras. El método se concentra en el uso de plantas capaces de captar, acumular, estabilizar o en algunos casos, hasta degradar sustancias contaminantes, lo que las convierte en una alternativa eficaz para la restauración ambiental (Goicochea, 2022).

Fitoextracción:

Este método principalmente se utiliza en la remediación de metales orgánicos e inorgánicos, aunque también permite el uso de plantas en la extracción de contaminantes orgánicos. Las especies de plantas apropiadas para este proceso deben poseer ciertas características esenciales, como una alta tasa de crecimiento y una considerable absorción del compuesto contaminante, así como bajos requisitos de cultivo. Tales atributos garantizarán resultados exitosos en la restauración mientras se minimizan los esfuerzos y los gastos de recursos.

Fitodegradación:

Este método de fitorremediación implica la degradación de agentes contaminantes orgánicos de los compuestos que las plantas liberan durante sus procesos metabólicos. En este proceso, las plantas producen ciertos metabolitos secundarios o incluso algunas partes que permiten a los contaminantes ser transformados a formas menos nocivas o más fáciles de asimilar, ayudando a la limpieza del agua o suelo contaminado. Este método se enfoca en el tratamiento de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos complejos son a menudo más difíciles de degradar, pero este método ayuda en la recuperación ambiental sostenible.

Fitoestabilización: Es una técnica que atrapa los contaminantes y asegura su biodisponibilidad, facilitando su acumulación alrededor de las raíces vegetales. En

segundo lugar, las raíces secundarias, además de estabilizar la planta, pueden liberar compuestos químicos que interfieren con los contaminantes, ya sea transformándolos en complejos químicos o por adsorción. A la captura de este contaminante contribuye la interfase suelo-raíz, además, inmoviliza la contaminación y disminuye en gran parte la toxicidad que existe en el entorno.

Fitovolatilización: Es un método que involucra el cambio o liberación de sustancias peligrosas, como el mercurio (Hg^{2+}), mediante la transpiración, evaporación o la volatilización de procesos hacia la atmósfera. En este proceso, los contaminantes se transforman en formas gaseosas menos perjudiciales y se emiten a la atmósfera, disminuyendo su concentración en el suelo o cuerpo de agua contaminado. Este método es particularmente efectivo para ciertos constituyentes que pueden ser eliminados mediante volatilización con un impacto mínimo en la geosfera y la hidrosfera.

Rizodegradación: Los procesos sostenibles restauran o disminuyen el daño causado por los contaminantes. Este fenómeno ocurre debido al crecimiento de las raíces que estimula la propagación de microorganismos descomponedores en la rizosfera, el área de suelo que rodea las raíces. Estos microorganismos emplean las secreciones y compuestos metabólicos liberados por especies vegetales, fuentes de carbono y energía, lo que impulsa la degradación de las sustancias contaminantes orgánicas disponibles en suelo, mejorando así la restauración del medio ambiente.

Rizofiltración: En este método, los suspensores contaminantes se adhieren a las raíces o son asimilados a través de procesos bióticos y abióticos. Para ello, se cultivan plantas de rápido crecimiento y con una amplia superficie radicular, generalmente en sistemas hidropónicos. El objetivo principal es facilitar la precipitación, absorción y concentración de las sustancias tóxicas presentes en las raíces, permitiendo su acumulación y posterior manejo, reduciendo así su manifestación en el medio acuático o el suelo contaminado de manera eficiente y controlada.

2.2.4. Sedimento

Las partículas suspendidas o disueltas de arena, arcilla y limo presentes en las profundidades del agua tienen su origen en diversos procesos naturales. Estas

partículas pueden derivar de la descomposición de organismos vivos, ya sean animales o vegetales. Además, la composición inicial de la roca madre, junto mediante los mecanismos de erosión que actúan sobre los materiales constituyentes, son los principales factores que contribuyen a su formación de manera natural. Este fenómeno es parte del ciclo geológico que influye en la dinámica de los ecosistemas acuáticos. Por otro lado, la liberación biológica, los procesos industriales, la combustión de carburantes, el uso de fertilizantes, entre otras actividades, son los factores que contribuyen al origen humano (Acosta et al., 2021).

2.2.5. Eficiencia

Los recursos utilizados y los resultados logrados constituyen elementos clave en cualquier actividad. Por ello, esta habilidad es altamente valorada por las organizaciones, en la práctica, todas las iniciativas cumplen objetivos o metas específicas, gestionando recursos limitados y enfrentando frecuentemente situaciones complejas. Esto demanda una administración eficiente y estratégica, que posibilite optimizar la explotación de los recursos accesibles y los hallazgos obtenidos, asegurando el éxito dentro de un ambiente competitivo y en constante cambio (Pereira, Miranda y Castro, 2020).

CAPÍTULO III

3.1 Hipótesis y variables

3.1.1 Hipótesis general

La presencia y actividad de *Cortaderia selloana* en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023, resulta en una remoción significativa de metales pesados de los sedimentos.

3.1.2 Hipótesis específicas

- La textura en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023, favorece significativamente el desarrollo radicular de *Cortaderia selloana*, aumentando la efectividad de la fitorremediación.
- La concentración de metales pesados disminuye significativamente a los 5 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.
- La concentración de metales pesados disminuye significativamente a los 10 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.
- La concentración de metales pesados disminuye significativamente a los 15 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana* del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.

3.2 Variables

3.2.1 Variable independiente

Cortaderia selloana

3.2.2 Variable dependiente

Remoción de metales pesados

3.3 Operacionalización de variables

Tabla 2.

Operacionalización de variables

Variable	Definición	Definición Operacional	Dimensiones	Técnica / Instrumento
V. INDEPENDIENTE <i>Cortaderia selloana</i>	Definición conceptual: La planta denominada <i>Cortaderia selloana</i> recibe comúnmente el apodo de Plumerio en territorio español, aunque en diversas regiones se emplean otros términos para identificarla, tales como Hierba de la Pampa, Carrizo de la Pampa, Cortaderia, Ginerio o Gimnerio (Lorenzo, 2020).	La ficha de recolección de datos permitió un seguimiento en base a la <i>Cortaderia selloana</i> (5 días, 10 días y 15 días) según los datos que presentan los resultados del laboratorio.	Eficiencia de la remoción de metales pesados	Análisis documental Ficha de recolección de datos
			Tiempo de remoción	
V. DEPENDIENTE Remoción de metales pesados	Definición conceptual: La remediación es un proceso biotecnológico aplicado para descontaminar suelos y cuerpos de agua mediante la adsorción o degradación de los agentes contaminantes. Este método se reconoce como un método respetuoso con el entorno natural, limita la remoción de metales pesados y su dispersión (López & Morales, 2022).	La ficha de recolección de datos permitió recabar los datos de los parámetros evaluados como la textura de los sedimentos y la concentración de metales pesados.	Capacidad de remoción	

3.4 Matriz de consistencia

Tabla 3.

Matriz de consistencia

Problema General	Objetivo General	Hipótesis	Variable Dependiente	Tipo de Investigación	Población de estudio
¿Cuál es la capacidad de remoción de metales pesados de <i>Cortaderia selloana</i> en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?	Evaluar la capacidad de remoción de metales pesados de <i>Cortaderia selloana</i> en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.	La presencia y actividad de <i>Cortaderia selloana</i> en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023, resulta en una remoción significativa de metales pesados de los sedimentos.	Remoción de metales pesados	Aplicada	Río Livitaca
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable Independiente	Diseño de Investigación	Muestra
¿Cuál es la textura en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?	Evaluar la textura en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023	La textura en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023, favorece significativamente el desarrollo radicular de <i>Cortaderia selloana</i> , potenciando su capacidad de interacción con contaminantes y aumentando la efectividad de la fitorremediación.	<i>Cortaderia selloana</i>	Experimental	Punto de monitoreo UTM: 198139.38E 8407504.898N 19L Muestreo por conveniencia
¿Cuál es la concentración de metales pesados a los 5 días en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?	Evaluar la concentración de metales pesados a los 5 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.	La concentración de metales pesados disminuye significativamente a los 5 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.			
¿Cuál es la concentración de metales pesados a los 10 días en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?	Evaluar la concentración de metales pesados a los 10 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.	La concentración de metales pesados disminuye significativamente a los 10 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.			
¿Cuál es la concentración de metales pesados a los 15 días en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023?	Evaluar la concentración de metales pesados a los 15 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.	La concentración de metales pesados disminuye significativamente a los 15 días en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con <i>Cortaderia selloana</i> del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023.			

CAPÍTULO IV

4.1 Materiales y métodos

Materiales Empleados:

- Material de muestreo para la recolección y almacenamiento de sedimentos: Se empleó material de muestreo (pala de polietileno, balde primer uso de 20L de polipropileno y equipo de protección personal), las muestras de sedimentos del río Livitaca fueron recogidos de tres estaciones de control. Estos sedimentos con presencia de metales pesados fueron acondicionados en un área con plantas de *Cortaderia selloana*, evitando la contaminación cruzada, y almacenadas de manera segura hasta su posterior análisis en el laboratorio.
- Planta *Cortaderia selloana*: Esta planta se utilizó como agente de remediación en el estudio. Se plantó en el sedimento contaminado, continuó con su ciclo de crecimiento permitiendo absorber los metales pesados.
- Para el análisis, se requirió el servicio del laboratorio SGS, acreditado por INACAL, usando el método de Microwave Assited Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soil and Oils/Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry.

Metodología para la recolección de muestras de sedimentos:

- Durante la etapa experimental, se efectuaron la toma de muestras de sedimentos de dos áreas: Mina 01 y Mina 02, las cuales se remitieron al centro de análisis de SGS con el fin de realizar el análisis correspondiente. Este proceso permitió obtener información precisa sobre las características fisicoquímicas de los sedimentos. A partir de los resultados del primer monitoreo, el estudio se centró específicamente en el área de Mina 01, debido a su proximidad a labores mineras activas y al potencial impacto ambiental identificado en la zona.
- El equipo se dirigió al río Livitaca para recolectar muestras de sedimentos fluviales contaminados, utilizando herramientas de primer uso para evitar

contaminación cruzada, almacenándose en contenedores específicos para preservar sus propiedades hasta su análisis y se transportaron los sedimentos al área experimental acondicionada. Este proceso se efectuó siguiendo el protocolo “Methods for collection, storage and manipulación of sediments for chemical and toxicological analyses: Technical Manual”, con objetivo de asegurar la preservación de las muestras recolectadas. Además, se documentaron en detalle las condiciones ambientales y el lugar de monitoreo para garantizar la reproducibilidad del estudio.

- **Recolección de muestras:** Se recogieron muestras de sedimento del área acondicionada con una frecuencia de 5 días en un periodo total de 15 días. Este procedimiento se realizó en línea con diseño del estudio, el cual estableció la medición de la fitorremediación en los mismos intervalos. Este enfoque permitió evaluar de manera sistemática cómo varía la eficacia de la planta en la acumulación de metales pesados, proporcionando datos clave para analizar las dinámicas de remediación ambiental en diferentes etapas del proceso (Clemente et al., 2022).
- **Almacenamiento y transporte de muestras:** Tras la recolección, las muestras de sedimentos se almacenaron y transportaron de forma segura al laboratorio de SGS acreditado por INACAL para su análisis. En laboratorio, se manejaron las muestras bajo protocolos con propósito de asegurar la exactitud de los datos obtenidos. Se sometieron al ensayo certificado para el reporte final, lo que incluyó un análisis detallado de la granulometría y la textura de los sedimentos, así como la concentración de varios metales pesados. Estos análisis permitieron identificar las características fisicoquímicas de los sedimentos y establecer correlaciones entre los parámetros texturales y los niveles de contaminación presentes.
- Los sedimentos se vertieron en el área recreada y se plantó *Cortaderia selloana*, replicando cuidadosamente las condiciones originales del río para garantizar la validez del estudio. Posteriormente, en los días 5, 10 y 15, se tomaron muestras de los sedimentos de esta área experimental, fueron etiquetadas y encargadas nuevamente al laboratorio de SGS acreditado por INACAL para su análisis. Este proceso permitió evaluar el potencial de la planta para remediar los metales pesados en diferentes intervalos, generando

un conjunto de datos robusto. Se documentaron las observaciones sobre el estado de crecimiento de la planta y su interacción con el sedimento para complementar los resultados obtenidos.

- El proceso se repitió después de la remoción con la especie *Cortaderia selloana*, la fitorremediación es una técnica emergente de rehabilitación del suelo que emplea plantas capaces de captar, modificar y retener contaminantes.

4.2. Población y muestra

Sobre lo importante de seleccionar adecuadamente a la población de estudio para obtener resultados válidos, este estudio consideró al río Livitaca como objeto de análisis. La selección de esta población fue clave, ya que se busca comprender los impactos ambientales en el ecosistema acuático y su vinculación con las labores mineras en la región. Considerando la selección de la muestra resulta fundamental para lograr datos fiables representativos y confiables, se aseguraron criterios de inclusión que permitieran reflejar la realidad de los sedimentos y obtener conclusiones que pudieran ser extrapolables a otras áreas afectadas por problemáticas similares (Vizcaíno et al., 2023).

4.2.1 Unidad de análisis

Es la evaluación de remoción de metales pesados. Este análisis se concretó con el uso de *Cortaderia selloana* en el río Livitaca, ubicado en Chumbivilcas, Cusco.

4.2.2 Universo de estudio

En cuanto a la importancia de seleccionar adecuadamente la población de estudio con el fin de conseguir datos confiables (Vizcaíno et al., 2023). La selección de la población de investigación, en este caso el río Livitaca, se realizó debido a su relevancia como fuente hídrica en la provincia de Chumbivilcas, Cusco, y su exposición a la polución ocasionada por metales tóxicos derivada de acciones mineras en la zona. El río Livitaca fue elegido específicamente por su alta concentración de contaminantes metálicos, lo que lo convierte en un sitio crítico para estudiar los procesos de fitorremediación utilizando *Cortaderia selloana*. Esta elección permitió enfocar el estudio en un área altamente afectada, lo que facilita la observación de los efectos de la planta sobre los metales pesados presentes en el agua y los sedimentos.

Al seleccionar este entorno, se buscó generar datos relevantes y aplicables a otros cuerpos de agua en condiciones similares, favoreciendo la elaboración de estrategias para la recuperación ambiental basadas en vegetación local.

4.3 Área de estudio

La comunidad campesina rural de Uchucarco se localiza en el distrito de Chamaca, dentro de la provincia de Chumbivilcas, en el departamento de Cusco, Perú, a una altura de 3,481 msnm. Su establecimiento data del 31 de noviembre de 1928. De acuerdo con el registro nacional de comunidades rurales del Perú de 2009, Uchucarco está compuesta por 190 núcleos familiares, quienes mantienen vivas sus tradiciones y costumbres. Para acceder a esta comunidad, se puede realizar un viaje desde Espinar, con una duración aproximada de dos horas, o desde la provincia de Canas, que toma alrededor de cuatro horas, cruzando paisajes andinos que muestran el patrimonio ecológico y cultural del área.

En cuanto a su demografía, la comunidad de Uchucarco con población censada de 706 personas, distribuidas en 443 viviendas particulares. La lengua principal hablada en la comunidad es el quechua, lo que refleja su fuerte identidad cultural y ancestral. A pesar de los cambios sociales y económicos, el quechua sigue siendo el vehículo principal de comunicación y expresión en la vida cotidiana de los habitantes (INEI, 2018). En términos de extensión territorial, la comunidad abarca un área de 6272 hectáreas como menciona (Matute et al., 2014).

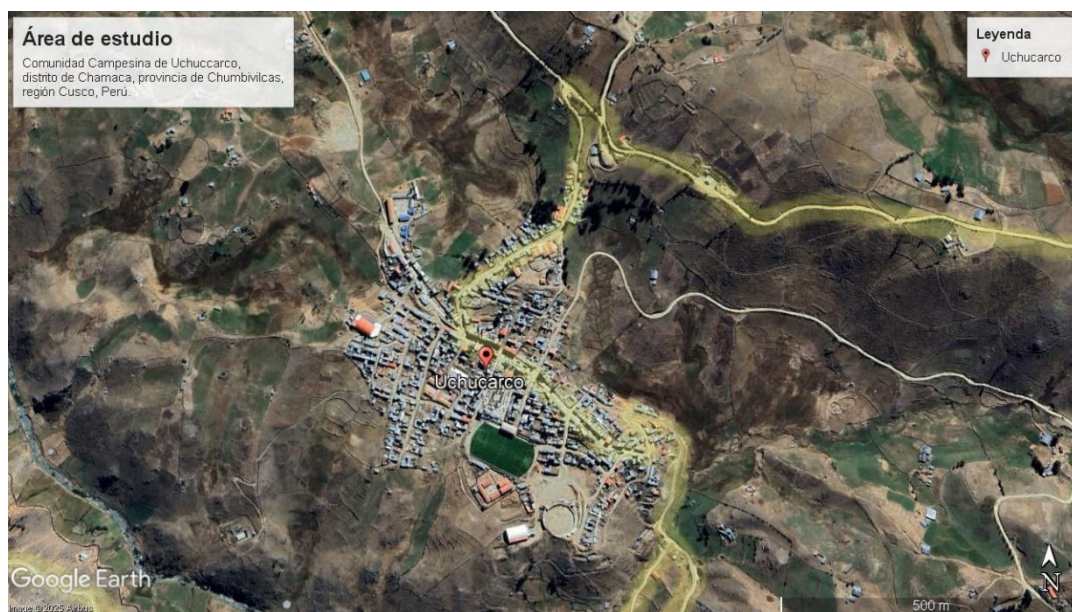


Figura 3. Ubicación y localización

Nota. Tomado de Google Earth

La comunidad rural de Uchucarco, ubicada en Chamaca, en la provincia de Chumbivilcas, Perú, no solo se destaca por su vibrante cultura y costumbres arraigadas, sino también por su cercanía al río Livitaca, que atraviesa la región. Este río, ubicado cerca de la comunidad con coordenadas 198139.47 E y 8407504.91 N, enfrenta desafíos significativos debido a la contaminación originada debido a las labores de extracción mineral en la zona. La presencia de estos metales y otros en sus aguas arriesga la salud de los pobladores como la biodiversidad acuática, afectando los recursos hídricos que resultan fundamentales para las prácticas agrícolas y la rutina cotidiana de la población. Tanto la minería formal como la artesanal están presentes en la zona, ambas contribuyendo al deterioro ambiental del río.

La minería artesanal en Perú, a menudo desregulada y sin medidas ambientales adecuadas, ha sido señalada por su impacto negativo en los ecosistemas y comunidades locales. Informes de la SDPA y del Ministerio de Energía y Minas sugieren que esta acción aporta enormemente a la contaminación de ríos con metales tóxicos, incluyendo mercurio, cianuro y una variedad de otros contaminantes. Estos desechos tóxicos no únicamente impactan la calidad del agua, inciden directamente en el bienestar de las poblaciones que se sostienen de dichos recursos para su ingesta y labores diarias productivas. La carencia de una supervisión adecuada sobre las actividades mineras artesanales ha provocado deterioro de los entornos naturales acuáticos,

comprometiendo la biodiversidad y aumentando los riesgos de enfermedades para los pobladores cercanos a las zonas de extracción. La falta de control por parte de estas instituciones acerca de la minería artesanal permite que exista una explotación descontrolada en la región, así como residuos mineros de gran toxicidad que son vertidos directamente al río. Para el caso de la comunidad de Uchucarco, esta ha decidido acceder a ciertas medidas para limpiar y cuidar el río Livitaca, el cual resulta ser imprescindible para su sobrevivencia y a la vez cuidar la gran variedad de vida que existe en la zona.

4.3.1. Características del área de estudio

Geomorfología

Geomorfología en la comunidad campesina de Uchucarco presenta una variedad notable de formas del relieve que influyen en la existencia diaria y las labores económicas de la región. En esta comunidad, se encuentran mesetas que ofrecen superficies elevadas y planas, ideales para ciertos tipos de cultivos y asentamientos. Las colinas, suaves y de menor altura que las montañas, dominan el paisaje, proporcionando un terreno apto para la agricultura y la ganadería menos intensiva, permitiendo una distribución más accesible de los recursos naturales. Además, las quebradas y valles que atraviesan la zona, formadas por antiguos flujos fluviales, crean microhábitats que favorecen la biodiversidad local, lo que facilita una variedad de actividades productivas. La interacción de estos relieves contribuye a un entorno natural diversificado, que requiere prácticas agrícolas adaptadas a cada tipo de terreno. Las montañas, que pueden ser altas o bajas, forman un componente crítico del paisaje, afectando los patrones climáticos locales y proporcionando recursos naturales como madera y agua. Además, las laderas que conectan estas montañas con los valles subyacentes son esenciales para entender los procesos de erosión y la dinámica de los ríos que son vitales para la agricultura. Los valles, ubicados entre montañas o colinas, son zonas de alta importancia agrícola debido a sus suelos fértiles y acceso a fuentes de agua, fundamentales en sustento de la comunidad campesina. Estas características geográficas no solo determinan las posibilidades de uso del suelo, sino que también configuran el modo de vida de la comunidad, desde las técnicas agrícolas hasta la organización social y cultural. Las mesetas y colinas facilitan la adaptación de los habitantes a diversas formas de cultivo, mientras que la disposición del terreno influye

en las rutas de transporte y en la distribución de los espacios habitacionales. La cercanía a cuerpos de agua y las variaciones del relieve también afectan las actividades ganaderas y la agricultura, favoreciendo cultivos específicos y métodos de manejo de la tierra. De esta manera, las características geográficas resaltan el vínculo cercano entre las personas y su ambiente, donde la tradición y el conocimiento local se integran con las condiciones naturales para sustentar la vida diaria en Uchucarco (Flores y Ramos, 2018).

Precipitación

La precipitación media anual en Uchucarco se registra en 792.02 mm, un valor que, junto con el clima predominantemente frío, define en gran parte el estado del entorno natural y agrícolas de la zona. Este nivel de precipitación favorece ciertos cultivos adaptados a climas de montaña, pero también presenta desafíos para la administración del agua disponible, sobre todo durante períodos de sequía o lluvias intensas. La temperatura en Uchucarco varía significativamente a lo largo del año, con una media anual máxima de temperatura de apenas 6.33°C, alcanzando mínimos de hasta -8°C durante los períodos más fríos. Sin embargo, en los días más cálidos, la temperatura puede llegar a los 20°C, lo que genera variaciones estacionales importantes. Estas fluctuaciones térmicas, combinadas con la precipitación, determinan los tipos de cultivos viables y las estrategias de manejo agrícola, influenciando también las actividades cotidianas de los pobladores. Estas condiciones climáticas tienen implicaciones directas para la agricultura y la biodiversidad local. La variabilidad en las temperaturas y las precipitaciones influye en los tipos de cultivos que se pueden desarrollar y en las técnicas agrícolas que se deben emplear. Por ejemplo, la agricultura debe adaptarse a un ciclo de crecimiento que pueda soportar heladas y temperaturas bajas durante buena parte del año. Asimismo, la gestión del agua se vuelve crucial, dado que las lluvias se concentran en ciertos períodos, requiriendo mecanismos para la recolección y conservación del agua para asegurar el riego en los meses más secos. Esta necesidad ha impulsado la implementación de técnicas tradicionales de almacenamiento, como los reservorios y canales de riego, que permiten a los agricultores optimizar la explotación de las reservas de agua accesibles. Estas características climáticas y meteorológicas no solo moldean el paisaje natural de Uchucarco, sino que también resultan fundamentales para el modo de vida y las

actividades económicas de habitantes, como mencionan los estudios sobre la agricultura de montaña en la región. La adaptación a estos factores ha llevado a la comunidad a desarrollar estrategias agrícolas específicas, priorizando cultivos resistentes al frío y manejando de manera eficiente los recursos hídricos para sostener su economía y garantizar la seguridad alimentaria a lo largo del año (Flores y Ramos, 2018).

4.3 Tipo y diseño de investigación

Con un enfoque práctico de orientación cuantitativa, empleando un diseño experimental y un nivel explicativo. El valor de esta perspectiva se encuentra en su potencial para proporcionar datos fiables y medibles que permiten una evaluación precisa de los efectos de las intervenciones. Además, este enfoque tiene la ventaja de ser útil para muchos problemas, procesos o sistemas diferentes que se pretende mejorar, porque ayuda a identificar vínculos causales y permite formulación de soluciones basadas con evidencia. De esta manera, el diseño experimental se convierte en un método primario para producir resultados replicables y aplicables en entornos comparables, garantizando la validez y eficacia de las propuestas realizadas (Vizcaíno et al., 2023). Se evidencia que en la relación de causa efecto de la especie *Cortaderia selloana* en la concentración de los metales de los sedimentos en el río Livitaca.

4.4. Tamaño de la muestra

Una muestra por conveniencia define como un muestreo no probabilístico donde los sujetos son elegidos debido a su facilidad de acceso. Este método se emplea con frecuencia cuando hay una alta demanda de recopilar datos en muy poco tiempo y sin costo. Si bien este método proporciona eficiencia, la principal limitante es la falta de representatividad de la población, lo que limita la posibilidad de generalizar conclusiones. Esto se vuelve útil si la meta es contar con información inicial en situaciones donde no hay recursos (Del Carmen, 2019). La selección del río Livitaca como muestra para la investigación se justifica por su ubicación estratégica y representatividad en los niveles de metales pesados. El punto de monitoreo fue elegido debido a su proximidad a áreas de intensa actividad minera, lo que lo convierte en un punto crítico donde la acumulación de contaminantes es más significativa. Además, el río Livitaca presenta características geomorfológicas e hidrológicas que permiten un

análisis detallado del comportamiento de los metales en el agua y en los sedimentos, facilitando la evaluación de la capacidad de *Cortaderia selloana* para remover metales pesados.

4.4.4 Selección de la muestra de sedimento

El monitoreo de sedimentos se basó en “*Methods for collection, storage and manipulation of sediments for chemical and toxicological analyses: technical manual, 2001*”, en el manual se considera el plan de estudios (ver el Anexo 2); ello conllevó a delimitar el área de estudio y en dentro de esa área se determinó los lugares específicos para la toma de muestras. Se consideraron los factores climatológicos para la selección del momento adecuado para el muestreo, y en este caso, se optó por la temporada de estiaje debido a la facilidad de ingreso al lugar, ya que durante este período las condiciones del terreno permiten un acceso más sencillo. Se utilizó un GPS para determinar con precisión las coordenadas del punto de monitoreo, asegurando la correcta ubicación de las evidencias obtenidas en la zona investigada. El muestreo de sedimento se realizó en diferentes profundidades: sedimento de superficie (de 0 a 15 cm), en aguas profundas (más de 60 cm de profundidad) y en aguas someras (entre 0 y 60 cm), permitió adquirir una perspectiva integral acerca de las condiciones del río en diversas capas y niveles de sedimentación. De acuerdo con la profundidad a la que se encuentren los sedimentos, lodos y biosólidos, los parámetros y métodos especificados en la Orden de Inspección, así como los requisitos establecidos para la toma de muestra de sedimentos en el ANA-R-I&E-ENV.10 'Cantidad de Muestra y Requisitos Mínimos para Ensayos de Muestras Ambientales', seleccione y determine la cantidad de equipos, herramientas y materiales a utilizar durante el monitoreo (U.S. Environmental Protection Agency, 2001).

Para seleccionar la muestra de sedimento se aplicó el método del cuarteo, consiste dividir el total de sedimento recolectado en partes iguales. De estas partes, se tomaron las 2/4 partes correspondientes como muestra representativa para el análisis (Salazar et al., 2020).

Con un envase de polietileno de alta densidad, resistente y de fácil sellado, lo que garantiza la conservación adecuada del contenido. Se previno la incidencia directa de los rayos solares, para prevenir alteraciones en la muestra. La cadena de custodia fue de gran utilidad para registrar y garantizar la trazabilidad, colocando la

información relevante, como fecha, hora y condiciones de almacenamiento, lo que asegura la integridad del proceso (U.S. Environmental Protection Agency, 2001).

El muestreo se realizó a criterio del investigador, al ser un muestro por conveniencia.

- Criterios de inclusión
 - Zona adyacente a la ubicación de la mina artesanal
 - Retención de contaminantes
- Criterios de exclusión
 - Zonas distantes a la ubicación de la mina artesanal
 - Arrastre de contaminantes.

4.5 Procedimiento, técnicas e instrumentos de recolección de información

4.5.1 Procedimiento

Se empleó fases:

Caracterización y análisis de textura de sedimentos: Se realizó una caracterización física de los sedimentos, a fin de obtener información detallada sobre sus propiedades. Para ello, se recogieron muestras representativas de sedimentos provenientes de diferentes áreas afectadas, asegurando una amplia cobertura del sitio. Se aplicó la técnica de ensayo ES.NTP 339.128 para el análisis granulométrico, detallando el tamaño de partículas y la composición a fin de comprender la distribución y la naturaleza de los sedimentos.

Determinación de la concentración de los metales: Un seguimiento continuo a lo largo de un período de 15 días. Este monitoreo sistemático permitió observar y analizar los cambios en las concentraciones, facilitando el reconocimiento de comportamientos recurrentes y regularidades dentro de la variabilidad de estos. Obteniéndose datos valiosos para evaluar la efectividad de la remoción con *Cortaderia selloana* en la reducción de la contaminación, permitiendo un análisis detallado de su impacto.

Remoción con *Cortaderia selloana*: La remoción de los sedimentos contaminados se realizó utilizando *Cortaderia selloana* como agente de remediación, con el propósito de evaluar su eficiencia para reducir la concentración de metales

pesados. Se basó en las propiedades fitorremediadoras de la planta, que se espera puedan contribuir a la supresión de compuestos nocivos en los sedimentos. A lo largo del proceso, se monitoreó la evolución de los niveles, con el fin de determinar la capacidad de *Cortaderia selloana*.

Análisis de los resultados: Se realizó un análisis detallado de hallazgos de la remoción de diversos metales pesados, tales como aluminio, bario, berilio, cadmio, calcio y zirconio. Para cada uno de estos metales totales pesados, se evaluó la concentración inicial en los sedimentos antes del proceso de remoción, y luego se realizaron mediciones a los 5, 10 y 15 días de remoción, permitiendo observar la evolución de sus concentraciones a lo largo del tiempo. Además, se calculó el porcentaje total de remoción de cada metal desde el inicio, ofreciendo una perspectiva nítida de la efectividad de *Cortaderia selloana*.

4.5.2 Técnicas de recolección de información

El análisis documental involucra con seguridad pasos como la lectura, la selección de palabras clave, la interpretación, el análisis del tema en cuestión, la comprensión semántica, el reconocimiento de la organización del contenido y muchos otros. En conjunto, estos aspectos sintetizan el análisis como una destreza en la que se logra reconocer, fraccionar o descomponer partes que, en su conjunto, contribuyen a una mayor percepción (Peña, 2022). Este estudio, se empleó el análisis documental en recabar datos y determinar la relevancia sobre el entorno en estudio.

4.5.3 Instrumentos de recolección de información

Para poder medir estos datos, el instrumento precisa diseñar las condiciones óptimas para su recopilación. Los datos son información que representa la realidad y se abstrae a través de la percepción directa o indirecta utilizando los sentidos. Todo lo empírico puede ser medido. Cualquier instrumento diseñado para recopilar datos en una investigación científica debe garantizar confiabilidad, objetividad y un estándar definitivo de validez (Hernandez & Duana, 2020). En el contexto del estudio, se empleó una ficha de obtención de información con la intención de garantizar la recopilación, el seguimiento y precisión de información obtenida. La ficha se elaboró a partir de los hallazgos adquiridos por el laboratorio acreditado por INACAL.

Ficha de recolección de datos				
Remoción de metales pesados con <i>C. selloana</i>				
Metales totales	Concentración inicial (mg/kg)	Concentración a 5 días (mg/kg)	Concentración a 10 días (mg/kg)	Concentración a 15 días(mg/kg)
Arsénico Total				
Bario Total				
Cadmio Total				
Calcio Total				
Circonio Total				
Cobalto Total				
Cobre Total				
Litio Total				
Manganeso Total				
Molibdeno Total				
Níquel Total				
Plata Total				
Selenio Total				
Thorio Total				
Zinc Total				

Figura 4. Ficha de recolección de datos

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO V

5.Resultados

5.1. Caracterización y textura de sedimentos

Se analizó caracterización de los sedimentos físicos con el objetivo de comprender su estructura, así como su composición. Para cumplir con este propósito, se recolectaron muestras de sedimento de varias áreas afectadas para garantizar una representación adecuada. Posteriormente, se probaron las muestras para evaluar diversas propiedades físicas, incluyendo contenido de humedad, densidad textural y composición granular.

Para observar cómo estaba distribuida la dimensión de las partículas dentro de la muestra, fue necesario realizar un análisis de tamaño de partículas y composición primero.

Tabla 4.

Granulometría y textura de sedimento

Granulometría y Textura	Porcentaje	Coordenadas UTM WGS 84 19L	Estación de control de sedimentos contaminados		
			PROY-01A 05/02/2024	PROY-01B 10/02/2024	PROY-01C 15/02/2024
Arcilla (<0.002 mm)	%	8407504N / 198139E	6.14	7.69	7.69
Limo (0.05-0.002 mm)	%		18.42	33.84	20.00
Arena muy Fina (0.10-0.05 mm)	%		8.23	5.73	5.23
Arena Fina (0.25-0.10 mm)	%		46.50	31.01	51.52
Arena Media (0.50-0.25 mm)	%		2.47	3.70	3.06
Arena Gruesa (1.00-0.50 mm)	%		6.75	6.99	6.33
Arena muy Gruesa (2.00-1.00 mm)	%		11.48	11.05	9.42
Clase Textural	---		FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO
Material (<2.00 mm)	%		92.18	93.04	85.01
Material (>2.00 mm)	%		7.82	6.96	14.99

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 efectuó la granulometría y textura de muestras de sedimentos recolectadas en la estación de control a los 5, 10 y 15 días, correspondientes a las muestras Proy-01A, Proy-01B y Proy-01C, respectivamente. Estos análisis se hicieron con fin de evaluar el comportamiento de concentración de metales pesados.

Se observa que la composición de los sedimentos presenta ligeras variaciones entre las muestras. La arena fina constituye el componente predominante en todas las muestras, representando entre el 31.01% y el 51.52% del material total. A continuación, se encuentra la fracción de limo, que varía entre el 18.42% y el 33.84%, indicando su presencia significativa en la mayoría de las muestras. Por último, la arena muy gruesa representa un porcentaje más bajo, fluctuando entre el 9.42% y el 11.48%, indica que, aunque presente en todas las muestras, no es la fracción dominante. La fracción de arcilla es relativamente baja en todas las muestras, variando entre 6.14% y 7.69%. La arena gruesa y la arena media también están presentes, aunque en menor medida.

5.2. Concentración de metales tratados

Se realizó utilizando *Cortaderia selloana* como agente de remediación. Este tratamiento se implementó con el objetivo de evaluar la planta para reducir la concentración de los metales pesados en el medio ambiente, favoreciendo la recuperación de ambientes naturales contaminados. Para comprender mejor los efectos de la remoción y evaluar su viabilidad en aplicaciones de remediación ambiental, realizando un seguimiento a lo largo de un período de 15 días. Este enfoque sistemático permitió observar y examinar las transformaciones ocurridas en respuesta a la remoción con *Cortaderia selloana*, proporcionando así información sobre la efectividad de este método de remoción.

Tabla 5.

Resultados de remoción de metales

Parámetro	Unidad	Concentración inicial	Resultado de remoción		
			5 días	10 días	15 días
Arsénico Total	mg/kg	18.989	16.797	18.855	15.703
Bario Total	mg/kg	91.124	87.715	81.192	79.18
Cadmio Total	mg/kg	2.336	1.321	1.163	1.142
Calcio Total	mg/kg	7407.347	5569.953	4966.107	5404.485

Circonio Total	mg/kg	1.979	1.457	1.243	1.001
Cobalto Total	mg/kg	20.108	17.918	15.134	14.982
Cobre Total	mg/kg	9851.581	6557.023	5580.058	5177.951
Litio Total	mg/kg	10.7	10.4	9.9	10.1
Manganeso Total	mg/kg	1653.435	1077.841	953.977	830.347
Molibdeno Total	mg/kg	601.838	243.434	210.792	218.537
Níquel Total	mg/kg	8.844	8.08	7.187	6.611
Plata Total	mg/kg	5.304	3.125	3.03	3.228
Selenio Total	mg/kg	12.596	10.716	9.085	8.034
Thorio Total	mg/kg	3.147	2.451	2.769	2.932
Zinc Total	mg/kg	600.944	323.411	288.982	286.126

Nota. Elaboración propia

La Tabla 5 evidencia la Ci y la variación de concentración de los metales pesados en los sedimentos analizados durante el periodo de estudio.

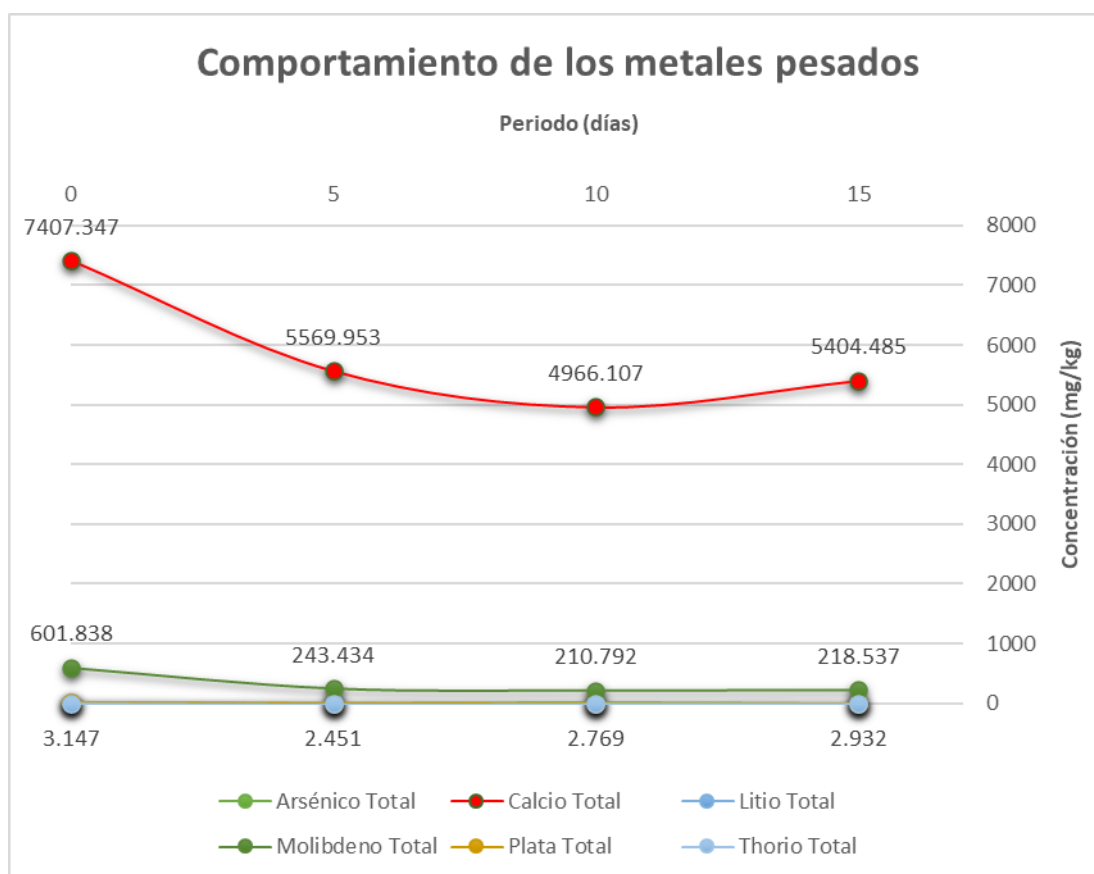


Figura 5. Comportamiento de metales pesados – tipo 1

Nota. Elaboración propia

La figura 5 evidencia el comportamiento de metales pesados – tipo 1 que comprende los metales pesados arsénico, calcio, litio, molibdeno, plata y thorio

analizados. Este comportamiento se caracterizó por fluctuaciones en valores de concentración de los metales pesados, con disminución durante primer y segundo periodo y un ligero incremento durante el último periodo.

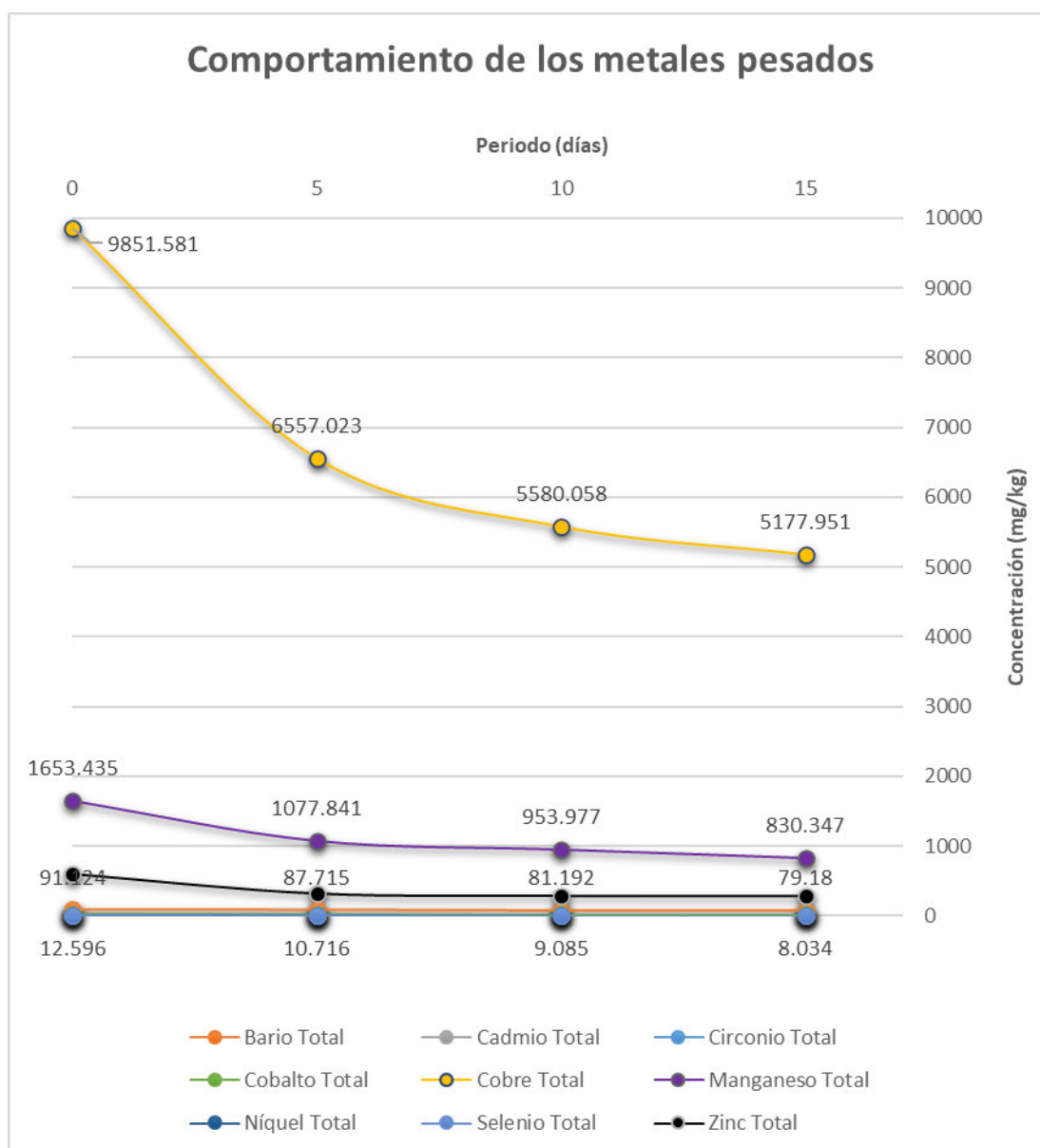


Figura 6. Comportamiento de metales pesados – tipo 2

Nota. Elaboración propia

La figura 6 evidencia la conducta de metales pesados – tipo 2 que comprende los metales bario, cadmio, circonio, cobalto, cobre, manganeso, níquel, selenio y zinc analizados. Durante los tres períodos evaluados, se detectó una reducción sostenida en la concentración de los metales pesados, una disminución más pronunciada en el primer periodo de remoción.

Seguidamente, se evidencian los hallazgos obtenidos por los metales pesados en el sedimento, incluyendo las concentraciones iniciales, concentraciones finales de cada periodo de remoción y los porcentajes de remoción.

- **Cálculo de la eficiencia:**

Se realizó usando la siguiente ecuación para cada parámetro analizado.

$$\% \text{ Remocion} = \frac{Ci - Cf}{Ci} * 100$$

Donde:

Ci: Concentración inicial

Cf: Concentración final

5.2.1. Concentración de arsénico total

Los datos revelan un descenso de la concentración de arsénico total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de arsénico total era de 18.989 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 16.797 mg/kg, resultando una remoción del 11.54% del arsénico total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de arsénico total incrementó a 18.855 mg/kg, resultando una eficiencia de 0.71% del arsénico total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de arsénico total, presentando una cifra de 15.703 mg/kg. Finalmente, logró una remoción del 17.30% del arsénico total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de arsénico total en los sedimentos, mostrando una reducción en el nivel de este elemento a lo largo del tiempo.

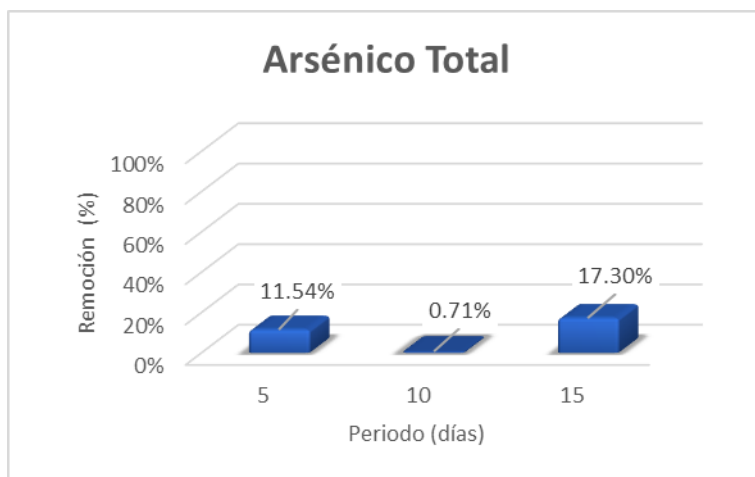


Figura 7. Resultados de remoción del arsénico total

Nota. Elaboración propia

5.2.2. Concentración de bario total

Los datos revelan un descenso de la concentración de bario total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de bario total era de 91.124 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 87.715 mg/kg, resultando una remoción de 3.74% de bario total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de bario total disminuyó a 81.192mg/kg, resultando una eficiencia de 10.90% de bario total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de bario total, 79.180 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 13.11% de bario total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de bario total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

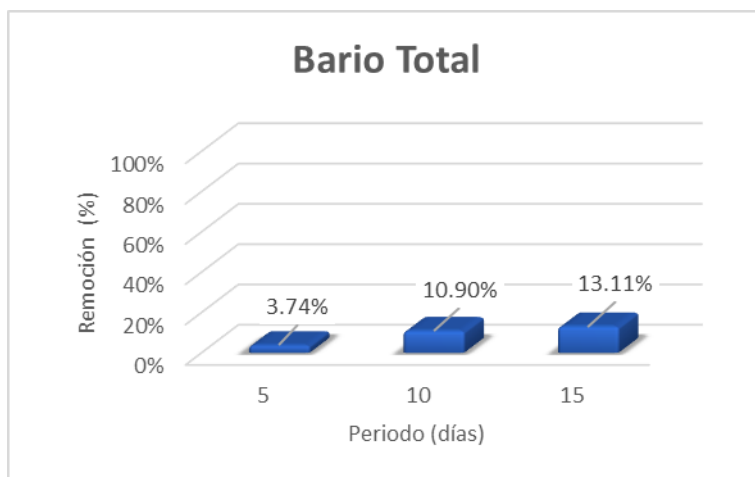


Figura 8. Resultados de remoción de bario total

Nota. Elaboración propia

5.2.3. Concentración de cadmio total

Los datos revelan un descenso en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de cadmio total era de 2.336 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 1.321 mg/kg, resultando una remoción de 43.45% de cadmio total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de cadmio total disminuyó a 1.163 mg/kg, resultando una eficiencia de 50.21% de cadmio total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de cadmio total, 1.142 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 51.11% de cadmio total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de cadmio total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

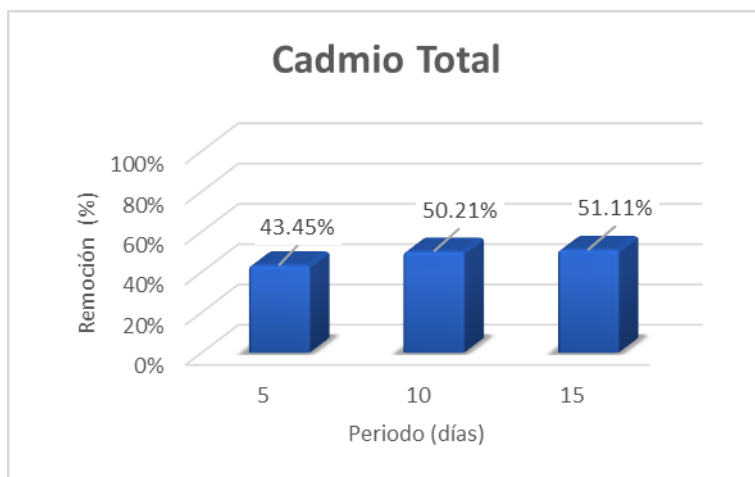


Figura 9. Resultados de remoción del cadmio total

Nota. Elaboración propia

5.2.4. Concentración de calcio total

Los datos revelan un descenso de la concentración de calcio total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de calcio total era de 7407.347 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 5569.953 mg/kg, resultando una remoción de 24.81% de calcio total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de calcio total disminuyó a 4966.107 mg/kg, resultando una eficiencia de 32.96% de calcio total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró un incremento de la concentración de calcio total, 5404.485 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 27.04% de calcio total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de calcio total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

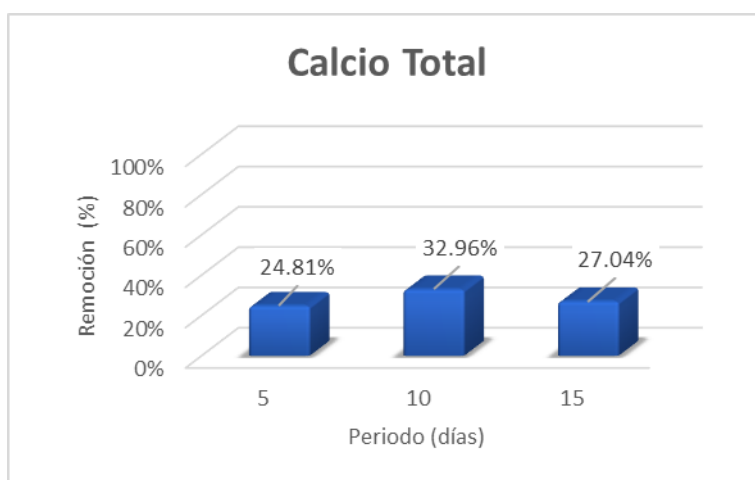


Figura 10. Resultados de remoción del calcio total

Nota. Elaboración propia

5.2.5. Concentración de circonio total

Los datos revelan un descenso de la concentración de circonio total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de circonio total era de 1.979 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 1.457 mg/kg, resultando una remoción de 26.38% de circonio total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de circonio total disminuyó a 1.243 mg/kg, resultando una eficiencia de 37.19% de circonio total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de circonio total, 1.001 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 49.42% de circonio total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de circonio total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

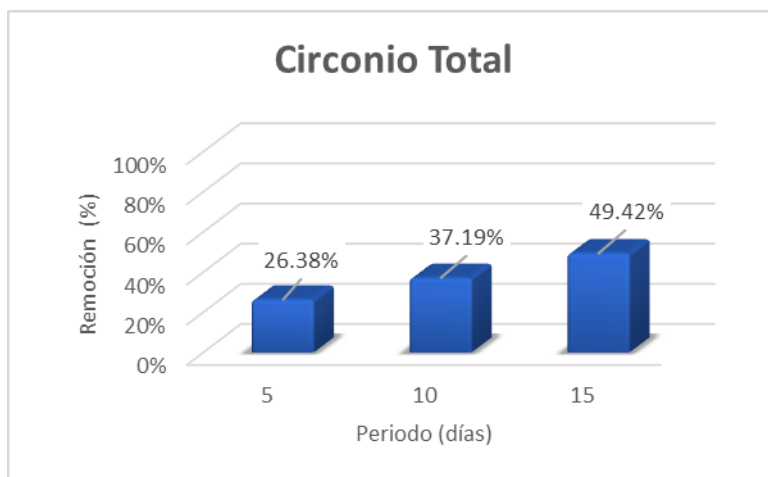


Figura 11. Resultados de remoción del circonio total

Nota. Elaboración propia

5.2.6. Concentración de cobalto total

Los datos revelan un descenso de la concentración de cobalto total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de cobalto total era de 20.108 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 17.918 mg/kg, resultando una remoción de 10.89% de cobalto total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de cobalto total disminuyó a 15.134 mg/kg, resultando una eficiencia de 24.74% de cobalto total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de cobalto total, 14.982 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 25.49% de cobalto total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de cobalto total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

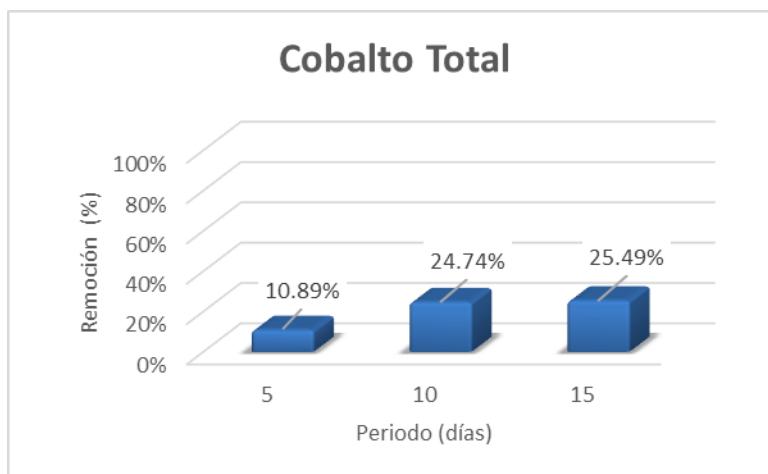


Figura 12. Resultados de remoción del cobalto total

Nota. Elaboración propia

5.2.7. Concentración de cobre total

Los datos revelan un descenso de la concentración de cobre total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de cobre total era de 9851.581 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 6557.023 mg/kg, resultando una remoción de 33.44% de cobre total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de cobre total disminuyó a 5580.058 mg/kg, resultando una eficiencia de 43.36% de cobre total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de cobre total, 5177.951 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 47.44% de cobre total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de cobre total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

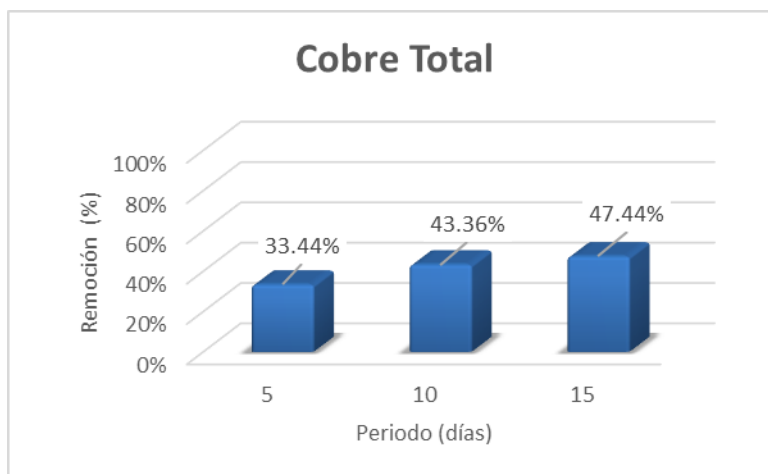


Figura 13. Resultados de remoción del cobre total

Nota. Elaboración propia

5.2.8. Concentración de litio total

Los datos revelan un descenso de la concentración de litio total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de litio total era de 10.7 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 10.4 mg/kg, resultando una remoción de 2.80% de litio total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de litio total disminuyó a 9.9 mg/kg, resultando una eficiencia de 7.48% de litio total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró un incremento de la concentración de litio total, 10.1 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 5.61% de litio total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de litio total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

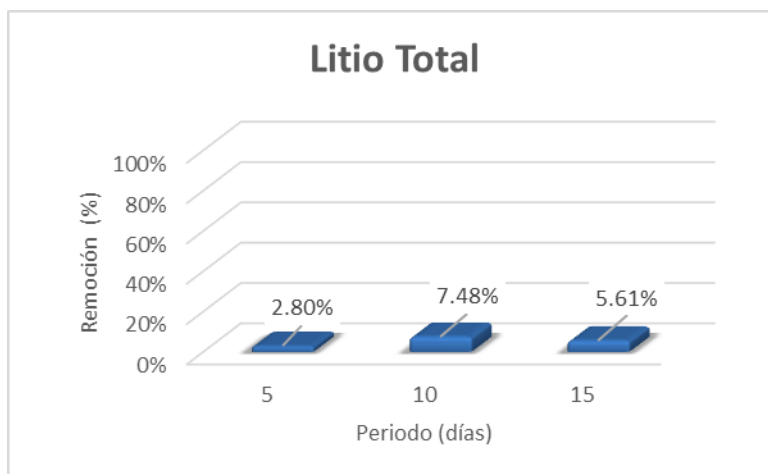


Figura 14. Resultados de remoción de litio total

Nota. Elaboración propia

5.2.9. Concentración de manganeso total

Los datos revelan un descenso de la concentración de manganeso total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de manganeso total era de 1653.435 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 1077.841 mg/kg, resultando una remoción de 34.81% de manganeso total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de manganeso total disminuyó a 953.977 mg/kg, resultando una eficiencia de 42.30% de manganeso total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de manganeso total, 830.347 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 49.78% de manganeso total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de manganeso total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

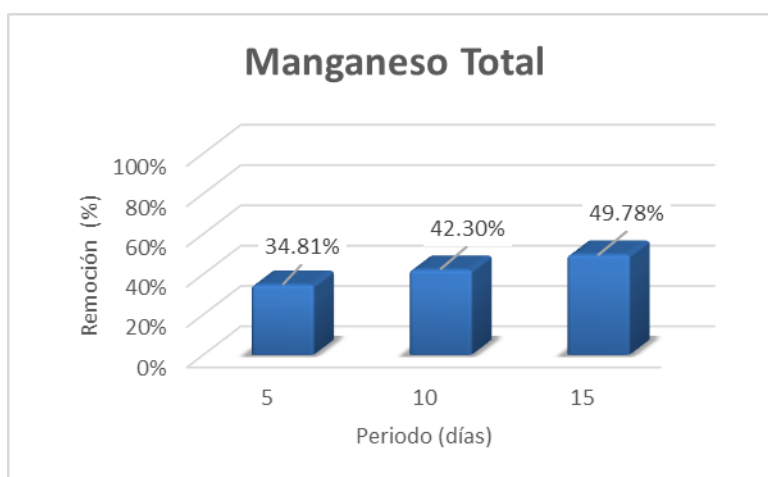


Figura 15. Resultados de remoción del manganeso total

Nota. Elaboración propia

5.2.10. Concentración de molibdeno total

Los datos revelan un descenso de la concentración de molibdeno total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de molibdeno total era de 601.838 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 243.434 mg/kg, resultando una remoción de 59.55% de molibdeno total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de molibdeno total disminuyó a 210.792 mg/kg, resultando una eficiencia de 64.98% de molibdeno total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró un incremento de la concentración de molibdeno total, 218.537 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 63.69% de molibdeno total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de molibdeno total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

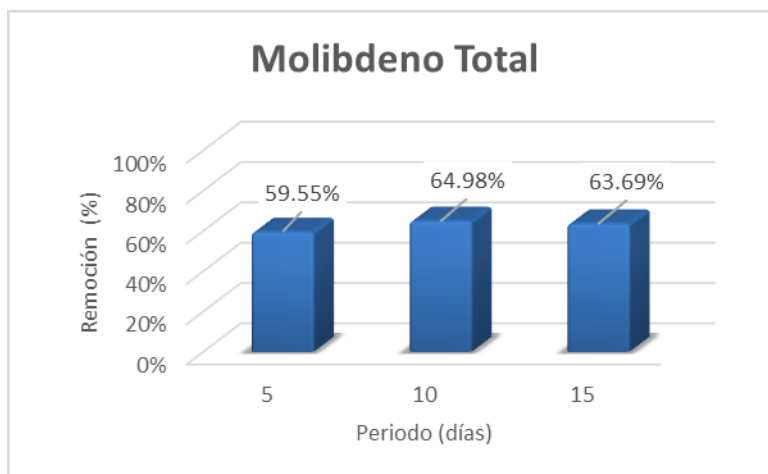


Figura 16. Resultados de remoción del molibdeno total

Nota. Elaboración propia

5.2.11. Concentración de níquel total

Los datos revelan un descenso de la concentración de níquel total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de níquel total era de 8.844 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 8.08 mg/kg, resultando una remoción de 8.64% de níquel total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de níquel total disminuyó a 7.187 mg/kg, resultando una eficiencia de 18.74% de níquel total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de níquel total, 6.611 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 25.25% de níquel total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de níquel total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

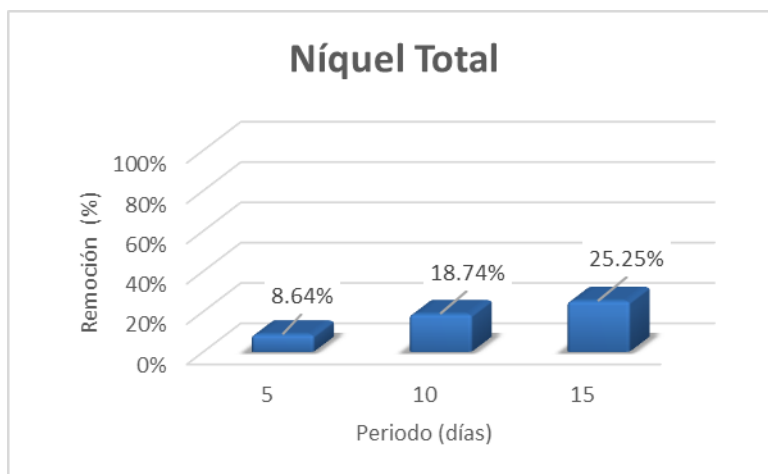


Figura 17. Resultados de remoción del níquel total

Nota. Elaboración propia

5.2.12. Concentración de plata total

Los datos revelan un descenso de la concentración de plata total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de plata total era de 5.304 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 3.125 mg/kg, resultando una remoción de 41.08% de plata total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de plata total disminuyó a 3.03 mg/kg, resultando una eficiencia de 42.87% de plata total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró un incremento de la concentración de plata total, 3.228 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 39.14% de plata total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de plata total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

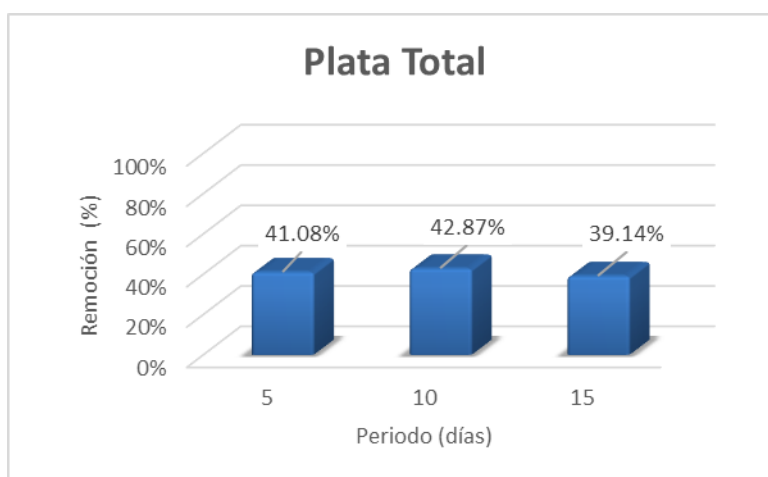


Figura 18. Resultados de remoción de la plata total

Nota. Elaboración propia

5.2.13. Concentración de selenio total

Los datos revelan un descenso de la concentración de selenio total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de selenio total era de 12.596 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 10.716 mg/kg, resultando una remoción de 14.93% de selenio total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de selenio total disminuyó a 9.085 mg/kg, resultando una eficiencia de 27.87% de selenio total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de selenio total, 8.034 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 36.22% de selenio total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de selenio total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

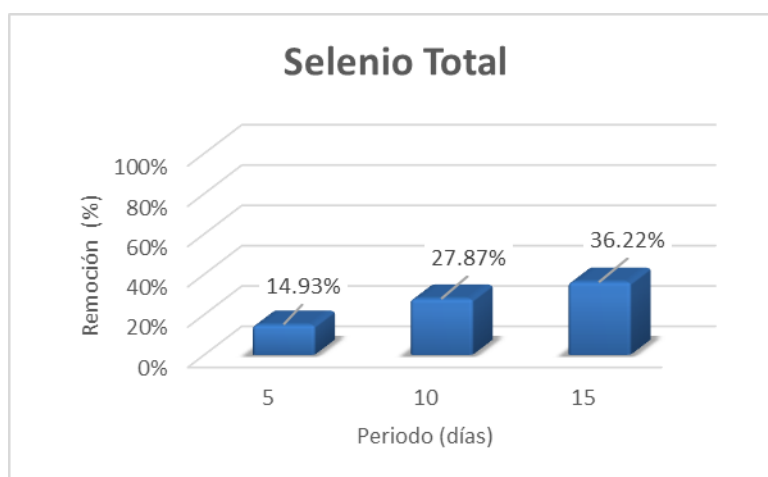


Figura 19. Resultados de remoción del selenio total

Nota. Elaboración propia

5.2.14. Concentración de thorio total

Los datos revelan un descenso de la concentración de thorio total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de thorio total era de 3.147 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 2.451 mg/kg, resultando una remoción de 22.12% de thorio total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de thorio total incrementó a 2.769 mg/kg, resultando una eficiencia de 12.01% de thorio total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró un incremento de la concentración de thorio total, 2.932 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 6.83% de thorio total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de thorio total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

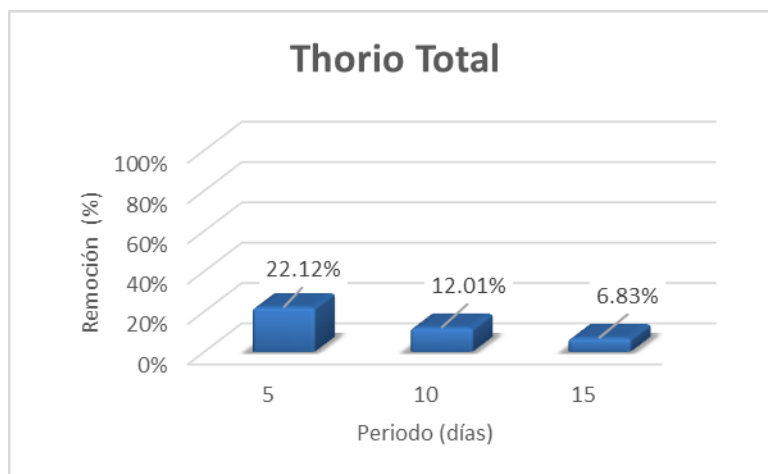


Figura 20. Resultados de remoción del thorio total

Nota. Elaboración propia

5.2.15. Concentración de Zinc total

Los datos revelan un descenso de la concentración de zinc total en los sedimentos removidos con *Cortaderia selloana* a lo largo de un período de 15 días. Inicialmente, la concentración de zinc total era de 600.944 mg/kg. Tras 5 días de remoción, esta concentración disminuyó a 323.411 mg/kg, resultando una remoción de 46.18% de zinc total presente en los sedimentos. A los 10 días de remoción, la concentración de zinc total disminuyó a 288.982 mg/kg, resultando una eficiencia de 51.91% de zinc total presente en los sedimentos. Después de 15 días, se registró una disminución de la concentración de zinc total, 286.126 mg/kg. Finalmente, se logró una remoción del 52.39% de zinc total presente en los sedimentos desde el inicio. Estos resultados indican que la *Cortaderia selloana* tiene un porcentaje de remoción de zinc total en los sedimentos, mostrando una disminución en la concentración de este metal a lo largo del tiempo.

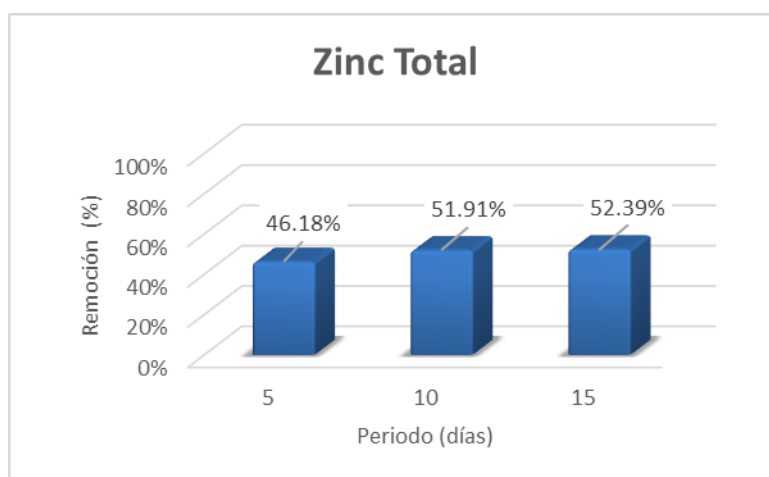


Figura 21. Resultados de remoción del zinc total

Nota. Elaboración propia

5.3. Análisis estadístico inferencial

Se evaluó las hipótesis planteadas en función a los resultados. Este análisis permitió determinar si hay diferencia significativa entre las categorías. Se aplicó pruebas estadísticas adecuadas para evaluar la validez de las H_0 e H_a , con objetivo de inferir si las observaciones en la muestra reflejan tendencias o patrones que pueden generalizarse a la población. Para ello, este análisis se basó en la Tabla 6 con un nivel de confiabilidad al 95%.

Tabla 6.

Resultados de concentración de metales.

Parámetro	Unidad	Concentración inicial	Resultados de concentración			Porcentaje de remoción		
			5 días	10 días	15 días	5 días	10 días	15 días
Arsénico Total	mg/kg	18.989	16.797	18.855	15.703	11.54%	0.71%	17.30%
Bario Total	mg/kg	91.124	87.715	81.192	79.180	3.74%	10.90%	13.11%
Cadmio Total	mg/kg	2.336	1.321	1.163	1.142	43.45%	50.21%	51.11%
Calcio Total	mg/kg	7407.347	5569.953	4966.107	5404.485	24.81%	32.96%	27.04%
Circonio Total	mg/kg	1.979	1.457	1.243	1.001	26.38%	37.19%	49.42%
Cobalto Total	mg/kg	20.108	17.918	15.134	14.982	10.89%	24.74%	25.49%
Cobre Total	mg/kg	9851.581	6557.023	5580.058	5177.951	33.44%	43.36%	47.44%
Litio Total	mg/kg	10.700	10.400	9.900	10.100	2.80%	7.48%	5.61%
Manganeso Total	mg/kg	1653.435	1077.841	953.977	830.347	34.81%	42.30%	49.78%
Molibdeno Total	mg/kg	601.838	243.434	210.792	218.537	59.55%	64.98%	63.69%
Níquel Total	mg/kg	8.844	8.080	7.187	6.611	8.64%	18.74%	25.25%
Plata Total	mg/kg	5.304	3.125	3.030	3.228	41.08%	42.87%	39.14%
Selenio Total	mg/kg	12.596	10.716	9.085	8.034	14.93%	27.87%	36.22%
Thorio Total	mg/kg	3.147	2.451	2.769	2.932	22.12%	12.01%	6.83%
Zinc Total	mg/kg	600.944	323.411	288.982	286.126	46.18%	51.91%	52.39%

Nota. Elaboración propia

La concentración de los metales pesados (Ba, Cd, Zr, Co, Cu, Mn, Ni, Se y Zn) en el sedimento refleja una disminución progresiva a medida del transcurso de los tres periodos, donde el menor porcentaje de remoción fue de 13.11% correspondiente al bario total y el mayor fue de 52.39% correspondiente al zinc total.

Sin embargo, no todos los metales pesados muestran la tendencia a disminuir progresivamente durante el transcurso de los tres periodos, como el litio, thorio, calcio, plata y molibdeno. En caso del litio, calcio, plata y molibdeno, el mayor porcentaje de remoción resultó después del segundo periodo, es decir, a los 10 días la concentración disminuyó más respecto al día 5 y 15. Por otro lado, en caso del thorio total, el mayor porcentaje de remoción resultó después del primer periodo, es decir, a los 5 días la concentración disminuyó más respecto al día 10 y 15. Lo que podría indicar un comportamiento atípico o la influencia de otros factores en su dinámica. Finalmente, en caso del arsénico, el mayor porcentaje de remoción resultó después del tercer periodo, es decir, a los 15 días la concentración disminuyó más respecto al día 5 y 10.

Para la hipótesis

Ha: La textura en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023, favorece significativamente el desarrollo radicular de *Cortaderia selloana*, aumentando la efectividad de la fitorremediación.

Ho: La textura en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023, no favorece significativamente el desarrollo radicular de *Cortaderia selloana*, aumentando la efectividad de la fitorremediación.

Se desarrollo pruebas de normalidad para la contrastación de la hipótesis, se evidencia en la Tabla 7.

Tabla 7.

Pruebas de normalidad

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
TRAT_1	0.288	7	0.081	0.744	7	0.011
TRAT_2	0.316	7	0.034	0.765	7	0.018
TRAT_3	0.337	7	0.016	0.702	7	0.004
DIA_5	0.243	7	,200*	0.873	7	0.196
DIA_10	0.229	7	,200*	0.922	7	0.482
DIA_15	0.212	7	,200*	0.913	7	0.418
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Nota. Tomado del análisis estadístico en el software SPSS.

Según la prueba de Shapiro-Wilk, recomendada para muestras pequeñas, los datos de los tratamientos (TRAT_1, TRAT_2 y TRAT_3) no siguen una distribución normal, mientras que los datos de los días (DIA_5, DIA_10 y DIA_15) presentan valores de significancia superiores a 0.05, sí siguen una distribución normal. Los resultados sugieren que el análisis de los tratamientos debe realizarse mediante pruebas no paramétricas, mientras que para los días se pueden emplear pruebas paramétricas.

Tabla 8.

Pruebas de Wilcoxon

Estadísticos de prueba^a			
	DIA_5 - TRAT_1	DIA_10 - TRAT_2	DIA_15 - TRAT_3
Z	-2,366 ^b	-2,366 ^b	-2,366 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	0.018	0.018	0.018
a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon			
b. Se basa en rangos positivos.			

Nota. Tomado del análisis estadístico en el software SPSS.

La prueba de rangos con signo de Wilcoxon comparó los pares DIA_5 - TRAT_1, DIA_10 - TRAT_2 y DIA_15 - TRAT_3, obteniendo un valor de $Z = -2.366$ en todas las comparaciones y una significancia asintótica de 0.018, inferior a 0.05. Dado esto, se descarta la H_0 y afirma la H_a , indicando que existen diferencias significativas entre días y los tratamientos evaluados.

Para la hipótesis:

La concentración de metales pesados a los 5 días ha disminuido significativamente en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana*.

Se llevó a cabo la prueba de normalidad para los datos recolectados 5 días de remoción utilizando la especie *Cortaderia selloana*. Este análisis permitió evaluar si la distribución de los datos sigue una curva normal, lo cual es crucial para determinar la aplicabilidad de ciertos métodos estadísticos en etapas posteriores del estudio. Al confirmar que se ajustan a una distribución normal, se puede seleccionar de manera adecuada las pruebas estadísticas más apropiadas, garantizando la validez y fiabilidad de los hallazgos en el análisis.

Tabla 9.

Prueba de normalidad a los 5 días.

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
INICIAL		15			15	
R.5D	0.17	15	.200*	0.928	15	0.258
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Nota: Extraído del SPSS Statistics.

Dado que el conjunto de datos analizados contiene menos de 50 observaciones, se eligió la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, reconocida por su eficacia. Al aplicar esta prueba, se efectuó un valor de significancia de 0.258, que es superior al umbral convencional de 0.05, lo que evidencia la distribución de los datos es normal. Esta confirmación de normalidad es crucial, ya que permite la aplicación de pruebas estadísticas paramétricas que requieren esta suposición.

Al confirmar que los datos tienen una distribución normal, procedió a efectuar la prueba t de Student, un análisis paramétrico adecuado para comparar medias y determinar si existen diferencias significativas entre grupos o condiciones dentro del estudio. La elección de esta prueba fue posible gracias a la validación de la normalidad de los datos, asegura la validez de los hallazgos obtenidos en este análisis estadístico.

Tabla 10.

Prueba t-student a los 5 días.

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilater al)
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la				
					Inferior	Superior			
Par 1	INICIAL - R.5D	,08542	,02213	,00571	,07317	,09768	14,949	14	,000

Nota: Extraído del SPSS Statistics.

En la prueba t de Student, se observó un valor t positivo, lo que indica que el valor p es 1 menos la mitad de la significancia, resultando en un valor final de 1. Dado que este valor p es mayor a 0.05, no se rechaza la H0. Esto sugiere que no existen diferencias significativas entre la concentración de metales pesados a los 5 días y la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana*. En otras palabras, aunque se haya observado una disminución en la concentración de metales, el análisis estadístico indica que esta reducción no es estadísticamente significativa, por lo que no se puede atribuir con certeza a la intervención de la especie en cuestión.

Para la hipótesis:

La concentración de metales pesados a los 10 días ha disminuido significativamente en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana*.

Se llevó a cabo la prueba de normalidad para los datos recolectados a los 10 días de remoción utilizando la especie *Cortaderia selloana*.

Tabla 11.

Prueba de normalidad a los 10 días.

Pruebas de normalidad						
Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
INICIAL	.	15	.	.	15	.
R.10D	,148	15	,200*	,954	15	,584

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Extraído del SPSS Statistics

Dado que el conjunto de datos analizados contiene menos de 50 observaciones, se eligió la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, reconocida por su eficacia en muestras pequeñas. Al aplicar esta prueba, se obtuvo un valor de significancia de

0.584, que es superior al umbral convencional de 0.05 por lo que la distribución de los datos es normal.

Al confirmar que los datos se distribuían de forma normal, se efectuó la prueba t de Student, un análisis paramétrico apropiado para comparar medias y verificar la existencia de variaciones significativas en el ámbito de los grupos o condiciones del estudio. La utilización de esta técnica contribuye a definir estadísticamente si las diferencias entre promedios de las dos agrupaciones son significativas o no. La elección de esta prueba fue posible gracias a que se pudo comprobar la normalidad de los datos, lo cual permite estimar de forma confiable los resultados en este procedimiento estadístico. Satisfechos con los supuestos planteados, se asegura que las afirmaciones realizadas están basadas fielmente en los datos recolectados y no se produjeron a partir de un análisis sesgado.

Tabla 12.

Prueba t-Student a los 10 días.

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	INICIAL - R.10D	,18446	,03198	,00826	,16675	,20217	22,337	14	,000

Nota: Extraído del SPSS Statistics

En la prueba t de Student, se observó un valor t positivo, lo que indica que el valor p es 1 menos la mitad de la significancia, resultando en un valor final de 1. Dado que este valor p es mayor a 0.05, no se rechaza la H0. Esto sugiere que no se ha encontrado evidencia suficiente para evidenciar que la concentración de metales pesados a los 10 días ha disminuido significativamente en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana*. En otras palabras, a pesar de que puede haber una tendencia a la disminución, el análisis estadístico no muestra una diferencia significativa que permita concluir que la especie ha tenido un impacto directo en reducción de los metales en los sedimentos.

Para la hipótesis:

La concentración de metales pesados a los 15 días ha disminuido significativamente en comparación con la concentración inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana*.

Se llevó a término la prueba de normalidad para los datos recolectados a 15 días de remoción utilizando la especie *Cortaderia selloana*.

Tabla 13.

Prueba de normalidad a los 15 días.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
INICIAL	.	15	.	.	15	.
R.15D	,161	15	,200*	,888	15	,063
*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.						
a. Corrección de significación de Lilliefors						

Nota: Extraído del SPSS Statistics.

Dado que el conjunto de datos analizados contiene menos de 50 observaciones, se eligió la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, reconocida por su eficacia en muestras pequeñas. Al aplicar esta prueba, obteniendo un valor de significancia de 0.063, que es superior al umbral convencional de 0.05 por lo que la distribución de los datos es normal.

Al confirmar que los datos tienen una distribución normal, se procedió a realizar la prueba t de Student, un análisis paramétrico adecuado para comparar medias y establecer si se presentan variaciones relevantes entre las categorías o condiciones dentro del estudio. La elección de esta prueba fue posible gracias a la validación de la normalidad de los datos.

Tabla 14.

Prueba t-Student a los 15 días.

Prueba de muestras emparejadas									
Diferencias emparejadas									
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	INICIAL - R.15D	,20648	,06865	,01773	,16847	,24450	11,649	14	,000

Nota: Extraído del SPSS Statistics.

En la prueba t de Student, se observó un valor t positivo, lo que indica que el valor p es 1 menos la mitad de la significancia, resultando en un valor final de 1. Dado que este valor p es mayor a 0.05, no se rechaza la H0. Esto sugiere que no se ha obtenido respaldo suficiente para asegurar que la concentración de metales pesados a los 15 días ha disminuido significativamente en comparación con la concentración

inicial en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana*. En otras palabras, aunque se podría haber observado una disminución en la concentración de metales pesados, los resultados del análisis estadístico no muestran una diferencia significativa que permita atribuir esta reducción a la intervención de la especie en cuestión.

6. Discusión

El estudio enfrentó varias limitaciones, comenzando con la dificultad de realizar el tratamiento con la especie *Cortaderia selloana* in situ debido a que la zona es crítica por la presencia de minería artesanal, lo que obligó a recrear un área experimental segura con condiciones similares. Durante el monitoreo de los días 5, 10 y 15, se identificaron datos anómalos en algunas concentraciones que se incrementaron inesperadamente; estos fueron interpretados y superados mediante un análisis estadístico inferencial que consideró las posibles variaciones naturales y errores de muestreo. Además, la ausencia de normativa nacional respecto a los límites de concentración de metales en sedimentos fluviales y a un protocolo estándar de muestreo fue superada adaptando normativa internacional reconocidas y ajustando los procedimientos a las condiciones locales, asegurando así la confiabilidad de los datos conseguidos, al ser utilizados en investigaciones.

Los resultados obtenidos a los 5 días de tratamiento con *Cortaderia selloana* muestran una disminución significativa en la concentración de varios metales pesados. Por ejemplo, la concentración de cadmio total se redujo de 2.336 mg/kg a 1.321 mg/kg, lo que representa una reducción del 43.45%. Este resultado es particularmente relevante cuando se compara con estudios anteriores que han analizado la efectividad de otras especies vegetales y enmiendas. El estudio de Castañeda y Canchan, se notó el uso de maíz y girasol en combinación con enmiendas orgánicas también resultó en una significativa remoción de cadmio del suelo contaminado, con una reducción del 53.154% al finalizar el experimento (Castañeda y Canchan, 2023). Aunque la reducción observada en los primeros 5 días del estudio es menor, es importante destacar que *Cortaderia selloana* está actuando en un medio sedimentario, lo que puede afectar la velocidad y la eficiencia de absorción de metales en comparación con suelos más aireados y ricos en nutrientes. Además, el estudio de Sánchez et al. (2021) subraya la eficacia de Brizanta en la remoción de plomo, donde se observó una disminución del 43.7% en un corto periodo. Aunque el estudio se centra en diferentes metales, los resultados iniciales sugieren que *Cortaderia selloana* podría presentar una dinámica de remoción similar si se prolongara el tiempo de tratamiento o se combinaran con técnicas complementarias, como la adición de enmiendas orgánicas. Finalmente, es importante considerar el estudio de Poma y Quiñonez, quienes investigaron la aplicación de modificaciones orgánicas con *Zea mays* L. para la

fitorremediación en suelos contaminados con Cd. Aunque encontraron que las modificaciones orgánicas no siempre resultan en una remoción significativamente mayor de metales, sus hallazgos sugieren que el tipo de planta y las condiciones ambientales son factores determinantes en la eficiencia de la fitorremediación (Poma y Quiñonez, 2022). En este sentido, los resultados obtenidos a los 5 días con *Cortaderia selloana* podrían compararse favorablemente si se consideran los factores ambientales específicos del área de estudio.

Los hallazgos obtenidos a los 10 días de la remoción con *Cortaderia selloana* muestran una reducción aún más significativa en la concentración de metales pesados en los sedimentos. En particular, la concentración de Cd total disminuyó en un 50.21% (de 2.336 mg/kg a 1.163 mg/kg) y la de cobre total en un 43.36% (de 9851.581 mg/kg a 5580.058 mg/kg). Además, Castañeda y Canchan también informaron una disminución sustancial de cadmio en suelos tratados con maíz y girasol combinados con biochar y vermicompost. En su estudio, la reducción del cadmio alcanzó un 53.154% al finalizar el tratamiento (Castañeda y Canchan, 2023). Si bien en el estudio la reducción observada en los primeros 10 días es menor, es importante considerar las diferencias en las especies vegetales y las condiciones ambientales. *Cortaderia selloana* muestra una tendencia similar de remoción continua, lo que sugiere que, con un tiempo de tratamiento prolongado, podría alcanzar niveles de eficiencia comparables. Por otra parte, el trabajo de Poma y Quiñonez también es relevante para esta discusión. Aunque su investigación encontró que las modificaciones orgánicas no siempre resultan en un avance notable en la remoción de cadmio, el uso de *Cortaderia selloana* en este estudio, sin enmiendas adicionales, muestra una capacidad inherente para reducir la concentración de metales pesados en los sedimentos (Poma y Quiñonez 2022). Este resultado sugiere que *Cortaderia selloana* podría ser una opción viable en contextos donde el uso de enmiendas no es factible o deseable. Sánchez y Vilcas también contribuyen a esta discusión con sus hallazgos sobre la remoción de plomo utilizando Brizanta. Su estudio mostró que después de un período de tratamiento similar, la concentración de Pb en el suelo disminuyó considerablemente (Sánchez y Vilcas 2021). Aunque el estudio no se centra en el plomo, la reducción observada en otros metales como el Cd y el Cu sugiere que *Cortaderia selloana* tiene un potencial similar para la remoción de una variedad de metales pesados, dependiendo del tipo de metal y las condiciones específicas del tratamiento.

Los resultados obtenidos a los 15 días de tratamiento con *Cortaderia selloana* muestran una reducción significativa y sostenida en la concentración de diversos metales pesados presentes en sedimentos contaminados. Por ejemplo, la concentración de cadmio total disminuyó un 51.11%, pasando de 2.336 mg/kg a 1.142 mg/kg, y la de cobre total se redujo en un 47.44%, de 9851.581 mg/kg a 5177.951 mg/kg. Estos resultados son indicativos de la eficacia de *Cortaderia selloana* como una herramienta de remediación ambiental a lo largo del tiempo, y son comparables con los hallazgos de investigaciones anteriores que utilizaron otras especies vegetales en contextos similares. Asimismo, Castañeda y Canchan, reportaron una reducción del 53.154% en la concentración de Cd utilizando maíz y girasol combinados con biochar y vermicompost en suelos contaminados. En comparación, los resultados obtenidos con *Cortaderia selloana* muestran que, aunque la planta no logra una reducción tan drástica en un período de 15 días, su eficiencia sigue siendo significativa, especialmente considerando que no se utilizaron enmiendas adicionales en este estudio (Castañeda y Canchan, 2023). Esto sugiere que *Cortaderia selloana* podría ser una alternativa viable en escenarios donde no se dispone de recursos adicionales para optimizar el proceso de remediación. El trabajo de Sánchez y Vilcas también es relevante, ya que demostraron una eficiencia del 43.7% en la remoción de plomo en suelos tratados con Brizanta durante un período prolongado (Sanchez y Vilcas, 2021). Aunque el estudio no se centra en el plomo, la reducción observada en otros metales, como el cobre y el cadmio, subraya la capacidad de *Cortaderia selloana* para actuar de manera similar a otras especies vegetales probadas en estudios anteriores, aunque con variaciones en la eficiencia dependiendo del metal en cuestión. Aunque en el estudio no se utilizaron enmiendas, los resultados muestran que *Cortaderia selloana* es capaz de reducir la concentración de metales en los sedimentos de manera efectiva, lo que podría mejorarse aún más si se incorporan técnicas complementarias, como la adición de biochar o compost. El estudio de Poma y Quiñonez también es pertinente, ya que evaluaron la aplicación de vermicompost y compost en *Zea mays* L. y encontraron que, aunque hubo un aumento en la bioconcentración y translocación de cadmio, las modificaciones orgánicas no siempre resultaron en una remoción significativa del metal. En contraste, *Cortaderia selloana* sin enmiendas ha demostrado ser eficaz, indicando su potencial como una especie clave en programas de fitorremediación que buscan una solución más económica y accesible (Poma y Quiñonez, 2022).

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Se ha demostrado que *Cortaderia selloana* posee una capacidad significativa para la remoción de metales pesados en los sedimentos del río Livitaca, Chumbivilcas – Cusco, 2023. Durante el periodo de tratamiento, la planta demostró una efectividad consistente en la reducción de concentraciones de metales como el bario, níquel, cobalto, selenio, cobre, circonio, manganeso, cadmio y zinc, lo que sugiere su idoneidad como una solución natural para la remoción de metales pesados de sedimentos en cuerpos de agua afectados por actividades mineras u otras fuentes de contaminación. Estos hallazgos refuerzan el potencial de *Cortaderia selloana* en la fitorremediación, proporcionando una alternativa ecológica y sostenible para la rehabilitación de ecosistemas acuáticos.

Los resultados obtenidos mediante la prueba de Wilcoxon indican que la textura de sedimentos del río Livitaca influye significativamente en el desarrollo radicular de *Cortaderia selloana*, favoreciendo su capacidad de fitorremediación. Con un valor de $Z = -2.366$ en todas las comparaciones y una significancia asintótica de 0.018 ($p < 0.05$), se descarta la H_0 y se valida la H_a , afirmando que la textura de los sedimentos impacta positivamente en el crecimiento radicular de la planta. Los datos evidencian una reducción progresiva en las concentraciones de metales pesados en los sedimentos tratados, con disminuciones del 51.11% en cadmio total, 25.49% en cobalto total y 52.39% en zinc total después de 15 días.

Tras 5 días de tratamiento, los resultados revelaron una reducción significativa en la concentración de varios metales pesados en los sedimentos tratados con *Cortaderia selloana*. Específicamente, la concentración de cadmio total disminuyó en un 43.45%, pasando de 2.336 mg/kg a 1.321 mg/kg. Estos resultados iniciales indican que *Cortaderia selloana* podría activar procedimientos para la supresión de metales pesados desde las primeras etapas del tratamiento, demostrando así su potencial como un agente de fitorremediación incluso con intervenciones a corto plazo. Tal capacidad de actuar tempranamente es vital para proyectos de remediación que necesitan acción rápida para restaurar el medio ambiente.

A los 10 días, la capacidad de *Cortaderia selloana* para remover metales pesados se intensificó, con una reducción del 50.21% en la concentración de cadmio

total (de 2.336 mg/kg a 1.163mg/kg) y del 43.36% en la concentración de cobre total (de 9851.581 mg/kg a 5580.058 mg/kg). Estos resultados subrayan la capacidad de *Cortaderia selloana* para mantener su eficacia en la remoción de metales a lo largo del tiempo, transformándolo en un instrumento prometedora para la remoción ambiental a mediano plazo. La planta demuestra ser una opción viable para tratamientos que buscan no solo iniciar, sino también sostener y mejorar la calidad de los sedimentos contaminados.

Después de 15 días de tratamiento, *Cortaderia selloana* alcanzó una remoción total del 51.11% en la concentración de cadmio total (reduciéndose de 2.336 mg/kg a 1.142 mg/kg) y del 47.44% en la concentración de cobre total (de 9851.581 mg/kg a 5177.951 mg/kg). Estos resultados confirman la capacidad sostenida y creciente de *Cortaderia selloana* para reducir la concentración de metales pesados en sedimentos contaminados a través del transcurso del tiempo, consolidándola como una alternativa eficiente para la fitorremediación en tratamientos prolongados. La planta se establece, así como una solución ecológica viable, con un gran potencial para ser implementada en programas de rehabilitación ambiental dirigidos a la remediación de ríos y otros cuerpos de agua.

7.2. Recomendaciones

- Se plantea implementar investigaciones específicas para determinar el pH óptimo del sedimento que maximice la capacidad de remoción de metales pesados por parte de *Cortaderia selloana*. Esto permitirá establecer condiciones ambientales ideales para la puesta en marcha efectiva de fitorremediación en el área de estudio.
- Se sugiere que se realice un monitoreo continuo de la efectividad de la eliminación de metales pesados a lo largo del tiempo para evaluar la sostenibilidad del impacto de la fitorremediación y realizar ajustes en el tratamiento según sea necesario. Esto ayudará a lograr resultados sostenibles a largo plazo, junto con la salud del ecosistema acuático.
- Se recomendable complementar el estudio con una revisión y análisis de los principales procesos bioquímicos implicados en la remoción de metales pesados por *Cortaderia selloana*.
- Se recomienda explorar la posibilidad en integrar enmiendas orgánicas al tratamiento con *Cortaderia selloana*, para mejorar aún más la capacidad de

remoción de metales pesados. Estas enmiendas pueden ayudar a alterar las características del suelo y a proporcionar nutrientes adicionales que promuevan el crecimiento saludable de la planta y aumenten su eficacia en la fitorremediación.

- Es esencial implementar iniciativas de formación y campaña de concienciación sobre sostenibilidad dirigidos a la comunidad local para aumentar la conciencia sobre los problemas de contaminación por metales pesados en el río Livitaca y fomentar esfuerzos activos de conservación. Esto podría implicar capacitación en técnicas de fitorremediación y la importancia de proteger los recursos hídricos para la salud humana y el bienestar del ecosistema.
- Se sugiere establecer asociaciones y cooperaciones entre entidades gubernamentales, ONGs, instituciones educativas y la población local para enfrentar de manera completa los desafíos relacionados con la contaminación de metales pesados en el río Livitaca. La cooperación interinstitucional puede facilitar la adquisición de materiales, la implementación de proyectos y la ejecución de acciones de fitorremediación a gran escala.

8. Referencias bibliográficas

- Acosta, Reinoso, D. C., & Alfonso, Franco, D. M. (2021). *Evaluar la concentración de plomo en sedimento en el sector norte del estero salado de Guayaquil, entre enero - febrero del 2021*. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/53521>
- Aprile, A., & De Bellis, L. (2020). *Editorial for Special Issue "Heavy Metals Accumulation, Toxicity, and Detoxification in Plants"* (Vol. 2021). International Journal of Molecular Sciences.
- Calvo, R. J., Pelegrín, M. A., & Gil, B. M. (2018). *Enfoques teóricos para la evaluación de la eficiencia y eficacia en el primer nivel de atención médica de los servicios de salud del sector público*. Retos de la Dirección. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552018000100006
- Castañeda, Ferrer, S. J., & Canchan, Torpoco, S. C. (2023). *Efecto de dos enmiendas orgánicas en la fitorremediación de cadmio por dos plantas cultivadas en suelo contaminado*. Sincos. 2022. Huancayo, Perú: Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13300>
- Centro Multidisciplinario de Investigación Tecnológica. (04 de enero de 2022). *Comprueban eficiencia de totoras para absorción de metales en aguas contaminadas*. Recuperado el 15 de agosto de 2023, de <https://cemit.una.py/comprueban-eficiencia-de-totoras-para-absorcion-de-metales-en-aguas-contaminadas/>
- Cingolani, A., Giorgis, M., Hoyos, L., & Cabido, M. (2015). *La vegetación de las montañas de Córdoba (Argentina) a comienzos del siglo XXI: un mapa base para el ordenamiento territorial* (Vol. 57). Boletín de la Sociedad. Obtenido de <https://www.vitoria-gasteiz.org/docs/wb021/contenidosEstaticos/adjuntos/es/88/16/58816.pdf>
- Clemente, J., Medina, J., Laura, J., Pariona, L., & Gutiérrez, P. (2022). *Fitorremediación en suelos contaminados con Cd usando girasol (Helianthus annuus L. var. Sunbright)* (Vol. 70). Acta Agronómica.
- De La Cruz, N. M., Rojas, F. S., Benites, S. M., Quezada, Á. M., Otiniano, G. N., & Rodríguez, Y. M. (2022). *Use of Leuconostoc Mesenteroides to Produce a*

Dextran Bioflocculant. Universidad Autónoma del Perú. Obtenido de <https://doi.org/10.5755/j01.erem.78.1.29591>

Del Carmen, S. V. (2019). *MUESTRA PROBABILÍSTICA Y NO PROBABILÍSTICA*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO.

Ecologistas en acción. (01 de junio de 2008). *Fitorremediación*. Recuperado el 2023 de agosto de 15, de <https://www.ecologistasenaccion.org/17857/fitorremediacion/>

Estrada, E. N., Huisa, C. A., & Ugarte, A. F. (2022). *Fortalecimiento de la gestión del Gobierno Regional de Cusco para implementar el proceso de formalización minera, en el marco del Programa Presupuestal 0126-Formalización Minera de la Pequeña Minería y la Minería Artesanal*. Cusco, Perú: Universidad Continental.

Fagúndez, J., & Sánchez, A. (2024). *High variability and multiple trade-offs in reproduction and growth of the invasive grass Cortaderia selloana after cutting* (Vol. 64). Weed Research.

Flores, S. V., & Ramos, O. R. (2018). *Estudio Geológico, Geotécnico e Hidrológico para la Rehabilitación de la trocha carrozable tramo Uchucarco - Challuma, Distrito de Chamaca, Provincia de Chumbivilcas, Departamento del Cusco - 2017*. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.

Gamboa, N. (2021). *La presencia de los metales pesados en los cuerpos de aguas*. Revista de la Sociedad Química del Perú.

Goicochea, T. P. (2022). *Fitorremediación para recuperar suelos contaminados por metales pesados: discusión de revisión sistemática*. Agroindustrial Science. Obtenido de https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/18849/T018_76600566_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gonzalez, M. A., Bern, a. V., Garita, S., Arango, C., Plaza Cazón, J., Wahnán, L., & Ruscitti, M. (2022). *FI TOR REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS UTILIZANDO ESPECIES NATIVAS: CRITERIOS DE SELECCIÓN Y ESTUDIO DE SU CAPACIDAD DE BIOACUMULACIÓN*.

Resúmenes de Jornadas–Ciencias Biológicas. Obtenido de <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/14663/13704>

- Hernandez, M. S., & Duana, A. D. (2020). *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*. Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA. Obtenido de ISSN: 2007-4913
- INEI. (2018). *Directorio de comunidades nativas y campesinas. Censos Nacionales 2017*. INEI.
- Kahraman, H. (2020). *Heavy Metals and Bacteria; Example of P. aeruginosa* (Vol. 29). Biomedical Journal of Scientific & Technical Research.
- Liendo, D., Campos, J. A., & Alberto, G. (2023). *Cortaderia selloana, an example of aggressive invaders that affect human health, yet to be included in binding international invasive catalogues* (Vol. 89). NeoBiota.
- López, H. M., & Morales, H. O. (2022). *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: una revisión*. Revista Ciencia y Tecnología El Higo. Obtenido de <https://camjol.info/index.php/elhigo/article/view/15197>
- Lorenzo, M. J. (2020). *GESTIÓN INTEGRAL Y VÍAS DE VALORIZACIÓN PARA LA PLANTA INVASORA “CORTADERIA SELLOANA” EN CANTABRIA*. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/18206/423326.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Manrique, H., & Sanborn, C. A. (2021). *La minería en el Perú: balance y perspectivas de cinco décadas de investigación*. Universidad del Pacífico.
- Mantari, C. A., & Pinchi, R. W. (2021). *Influencia de la minería artesanal e informal en la calidad del recurso hídrico de Parcoy, La Libertad*. CIENCIA Y TECNOLOGÍA. Obtenido de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/3556/4246>
- Martínez, L., Sarmiento, G., & Bocardo, E. (2021). *ESPECIES VEGETALES NATIVAS CON POTENCIAL PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS ALTO ANDINOS CONTAMINADOS POR RESIDUOS DE ACTIVIDAD MINERA*. Lima, Perú: Bioagro. Obtenido de <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/3380>.

- Martínez, M. L., Sarmiento, S. G., & Bocardo, D. E. (2021). *Native plant species with potential for the phytoremediation of high-andean soils contaminated by residues from mining activity*. <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/3380>.
- Matute, G., Ayala, R., Flores, D., Navarrete, A., & Trevejo, N. (2014). *Modelo para el desarrollo sostenible con inversión minera: el caso de las comunidades campesinas de Uchucarcro y Chilloroya*. Universidad ESAN.
- Mendes, D., Lizieri, C., & Oliveira, F. (2021). *Plantas aquáticas em ecotecnologias: perspectivas para fitorremediação de ferro emanganes* (Vol. 10). Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/350147617_Plantas_aquaticas_em_ecotecnologias_perspectivas_para_fitorremediacao_de_ferro_e_manganes
- Mestanza et al.,. (2022). *Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM): Management and Socioenvironmental Impacts in the Northern Amazon of Ecuador*. Sustainability.
- MINAM. (2022). *REPORTE N° 00014-2022-OEFA/DEAM-STEAC*. Ministerio del Ambiente.
- MINEM. (2023). *RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 0377-2023/MINEM-DGAAM*. Ministerio de Energía y Minas. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5640103/4994898-rd_377_2023_minem_dgaam.pdf
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (18 de junio de 2021). *Control y Monitoreo Ambiental Metales pesados*. Recuperado el 2023 de agosto de 15, de Metales pesados: <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/productos-quimicos/metales-pesados>
- Morales, B. G., Lam, V. A., Segura, O. M., & Sánchez, S. F. (2021). *Respuesta inmunológica a la exposición al arsénico inorgánico*. Domino de las ciencias. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8383866.pdf>
- National Institutes of Health. (18 de octubre de 2022). *Datos de el cobre*. Recuperado el 2023 de agosto de 18, de <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Copper-DatosEnEspanol.pdf>

- National Institutes of Health. (04 de octubre de 2022). *Datos sobre el zinc*. Recuperado el 2023 de agosto de 15, de <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Zinc-DatosEnEspanol.pdf>
- Novoa, H., Arizaca, A., & Huisa, F. (2022). *Efectos en los ecosistemas por presencia de metales pesados en la actividad minera de pequeña escala en Puno*. Revista de Investigaciones Altoandinas. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2313-29572022000300182
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). *Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión*. Entre Ciencia E Ingeniería. Obtenido de <https://revistas.ucp.edu.co/index.php/entrecienciaingenieria/article/view/1734>
- Pachas, V. (2021). *Enigma económico de los espíritus dueños del oro: minería de pequeña escala de oro en Sudamérica* (Vol. 2). Argumentos.
- Peña, T. (2022). *Etapas del análisis de la información documental* (Vol. 45). Revista Interamericana de Bibliotecología,.
- Pereira, M., Miranda, L., & Castro, B. (2020). *O conceito eficiência na gestão da saúde pública brasileira: uma revisão integrativa da literatura*. Revisão de Literatura. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2306-91552018000100006
- Pérez, Díaz, K. A. (2021). *Coronta de maíz carbonizada hidrotermalmente como alternativa para adsorber cobre, cadmio y plomo en disolución*. Santiago , Chile: Universidad de Chile. Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/183870>
- Polo, B. C., & Sulca, Q. L. (2018). *Metales Pesados: Fuentes Y Su Toxicidad Sobre La Salud Humana*. Ciencias.
- Poma, Jimenez, A. A., & Quiñonez, Rojas, C. E. (2022). *Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Zea mays l. en un suelo contaminado con cadmio*. Leonor Ordoñez, Jauja - 2021. Huancayo, Perú: Universidad Continental. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11108>

- Quispe, Y. R., Belizario, Q. G., Chui, B. H., Huaquisto, C. S., Calatayud, M. A., & Yábar, M. P. (2019). *Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú*. Revista Boliviana de Química. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602019000200003
- Quispealaya, L., Acharte, L. M., Enríquez, A., & Asto, J. M. (2020). *CONTAMINACIÓN CON METALES PESADOS EN SEDIMENTOS Y TRUCHAS EN LOS RÍOS OPAMAYO Y SICRA, HUANCAVELICA-PERÚ*. Revista Siglo XXI. Obtenido de <https://revistas.unh.edu.pe/index.php/rcsxxi/article/view/12/402>
- Red Muqui. (2024). *AGUA, MINERÍA y CAMBIO CLIMÁTICO: Posicionamiento de la RED MUQUI frente al cambio climático en el Perú*. muqui.
- Rojas, A. L., & Suyón, D. E. (2019). *Eficiencia De Fitorremediación Con Jacinto De Agua (Eichhornia Crassipes) Para Disminuir Concentraciones De Arsénico En Aguas Del Centro Poblado Cruz Del Medano - Morrope – 2019*. Universidad de Lambayeque. Obtenido de <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3636465>
- Roldão, M., Marchante, E., & Marchante, H. (2023). *Public perceptions about the invasive pampas grass, Cortaderia selloana: a case study of environmentally conscious citizens in Southern Europe* (Vol. 25). Springer Nature Link.
- Salazar, C., Moya, A., Gonzáles, J., Rodríguez, H., & Corrales, D. (2020). *Comparación de dos métodos de muestreo para el análisis de fertilidad de suelos* (Vol. 13). ALCANCES TECNOLÓGICOS. Obtenido de <https://ftecnologica.udistrital.edu.co/laboratorios/civiles/sites/lab-civiles/files/practica/2023-03/Reducir%20el%20uso%20de%20muestras%20de%20agregado%20por%20cuarteo.pdf>
- Sanchez, Tarillo, Y. J., & Vilcas, Guerrero, C. I. (2021). *Remoción de plomo en suelos utilizando brizanta (Brachiaria brizantha) y maíz (Zea mays)*. Tarapoto, Perú: Universidad Peruana Unión. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12840/5109>

- Silva, K., Ramírez, W., Chuquimbalqui, D., & Azabache, Y. (2024). *Fitorremediación con Medicago sativa y Taraxacum officinale para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados de un botadero* (Vol. 3). Revista Amazónica de Ciencias Ambientales.
- Siyar, R., Doulati, F., Norouzi, P., Maghsoudy, S., Yavarzadeh, M., Taherdangkoo, R., & Butscher, C. (2022). *Phytoremediation Potential of Native Hyperaccumulator Plants Growing on Heavy Metal-Contaminated Soil of Khatunabad Copper Smelter and Refinery, Iran* (Vol. 14). water.
- Trelles, C. M., & Muñoz, M. D. (2020). *Protocolo de Comercialización y los mineros de Pataz, una experiencia de formalización*. <https://revistagobiernoygestionpublica.usmp.edu.pe/index.php/RGGP/article/view/194/348>.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2001). *Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual*. EPA. Obtenido de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/collectionmanual.pdf>
- Universidad Nacional del Nordeste. (2010). *Angiospermas Basales y Clado Magnoliides*. Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina. Obtenido de <https://exa.unne.edu.ar/carreras/docs/4-%20Angiospermas%20Basales%20y%20Clado%20Magnoliides.pdf>
- Universidad Pública de Navarra. (09 de septiembre de 2019). *Plantas invasoras en Navarra*. Recuperado el 10 de octubre de 2023, de https://www.unavarra.es/herbario/invasoras/htm/Cort_sell_i.htm
- Velásquez, V. M., Galvis, L. C., & Mejía, C. C. (20 de marzo de 2022). *Implicaciones de la acumulación de Cadmio en la cadena productiva del cacao*. Manglar. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/mang/v19n4/2414-1046-manglar-19-04-391.pdf>
- Vilela, P. W., Espinosa, E. M., & Bravo, G. A. (2020). *La contaminación ambiental ocasionada por la minería en la provincia de El Oro*. Estudios De La Gestión: Revista Internacional De Administración.

Vizcaíno, P., Maldonado, I., & Cedeño, R. (2023). *Metodología de la investigación científica: guía práctica* (Vol. 7). Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. Obtenido de <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>

ANEXOS

Anexo 1: Manual para la toma de muestra de sedimentos



United States
Environmental Protection
Agency

Office of Water
(4305)

EPA-823-B-01-002
October 2001

Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual



Anexo 2: Informe de ensayo del muestreo inicial



**INFORME DE ENSAYO
MA2331128 Rev. 0**

CABANILLAS ASTACIE ALDO BERNARDO

ENV / LB-352901-002

PROCEDENCIA : **CC UCHUCCARCO**

Fecha de Recepción SGS : 09-09-2023
Fecha de Ejecución : Del 09-09-2023 al 17-09-2023
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
MINA 01
MINA 02

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 17/09/2023



Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

**INFORME DE ENSAYO
MA2331128 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MINA 01	MINA 02
PROFUNDIDAD (m)						
FECHA DE MUESTREO					07/09/2023	08/09/2023
HORA DE MUESTREO					17:00:00	12:00:00
MATRIZ					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Metales Totales						
Aluminio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	12,559.155	11,533.937
Antimonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	0.351	1.459
Arsénico Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	18.989	103.550
Bario Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	91.124	140.784
Berilio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.996	0.777
Bismuto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	0.928	2.480
Boro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195	21.904
Cadmio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	2.336	2.013
Calcio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	7,407.347	24,277.058
Circonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	1.979	3.024
Cobalto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	20.108	16.364
Cobre Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	9,851.581	1,898.230
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	5.853	7.197
Escandio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	2.541	3.785
Estaño Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	<0.940	1.022
Estroncio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	34.436	45.148
Fosforo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	1,176.842	971.063
Hierro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	25,857.345	43,874.154
Lantano Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	19.352	10.186
Litio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	10.7	8.8
Magnesio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	5,127.510	5,324.682
Manganeso Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	1,653.435	2,595.794
Mercurio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	<0.262	<0.262
Molibdeno Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	601.838	26.336
Níquel Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	8.844	7.095
Plata Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	5.304	1.834
Plomo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	70.547	137.145
Potasio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	944.731	957.317
Selenio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	12.596	<3.605
Sodio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	70.547	81.852
Talio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	0.184	0.244
Thorio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	3.147	2.661



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2331128 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					MINA 01	MINA 02
PROFUNDIDAD (m)						
FECHA DE MUESTREO					07/09/2023	08/09/2023
HORA DE MUESTREO					17:00:00	12:00:00
MATRIZ					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
Metales Totales						
Titanio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	124.920	235.460
Uranio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	2.853	0.722
Vanadio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	38.277	37.468
Wolframio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	10.459	2.139
Ytrio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	11.811	6.804
Zinc Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	600.944	572.592

INFORME DE ENSAYO MA2331128 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Aluminio Total	mg/kg	8.602	<8.602	3 - 8%	88%	88%	0%
Antimonio Total	mg/kg	0.131	<0.131	0 - 6%	90%	88%	2%
Arsénico Total	mg/kg	2.857	<2.857	6 - 11%	97%	97%	1%
Bario Total	mg/kg	0.440	<0.440	1 - 8%	87%	88%	0%
Berilio Total	mg/kg	0.173	<0.173	4 - 11%	97%	89%	7%
Bismuto Total	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 1%	105%	91%	4%
Boro Total	mg/kg	17.195	<17.195	0 - 2%	89%	87%	0%
Cadmio Total	mg/kg	0.144	<0.144	4 - 9%	90%	91%	8%
Calcio Total	mg/kg	208.223	<208.223	0 - 5%	98%	88%	1%
Circonio Total	mg/kg	0.147	<0.147	1 - 6%	101%	107%	3%
Cobalto Total	mg/kg	0.128	<0.128	0 - 9%	89%	96%	1%
Cobre Total	mg/kg	1.136	<1.136	2 - 4%	89%	102%	2%
Cromo Total	mg/kg	1.001	<1.001	2 - 9%	87%	87%	0%
Escandio Total	mg/kg	0.317	<0.317	1 - 8%	106%	92%	3%
Estaño Total	mg/kg	0.940	<0.940	2 - 11%	97%	107%	6%
Estroncio Total	mg/kg	0.822	<0.822	0 - 4%	87%	88%	0%
Fosforo Total	mg/kg	15.157	<15.157	1 - 5%	90%	89%	0%
Hierro Total	mg/kg	29.302	<29.302	1 - 5%	88%	90%	0%
Lantano Total	mg/kg	0.103	<0.103	1 - 5%	89%	89%	1%
Litio Total	mg/kg	3.0	<3.0	0 - 9%	88%	89%	1%
Magnesio Total	mg/kg	17.545	<17.545	6 - 12%	88%	89%	0%
Manganeso Total	mg/kg	0.643	<0.643	1 - 6%	88%	87%	0%
Mercurio Total	mg/kg	0.262	<0.262	0 - 6%	105%	90%	1%
Molibdeno Total	mg/kg	0.182	<0.182	0 - 7%	90%	89%	1%
Níquel Total	mg/kg	0.498	<0.498	0 - 5%	88%	97%	1%
Plata Total	mg/kg	0.268	<0.268	0 - 7%	91%	89%	1%
Plomo Total	mg/kg	0.346	<0.346	2 - 7%	87%	88%	0%
Potasio Total	mg/kg	42.993	<42.993	1 - 6%	88%	90%	1%
Selenio Total	mg/kg	3.605	<3.605	0 - 9%	89%	88%	0%
Sodio Total	mg/kg	24.136	<24.136	0 - 3%	87%	88%	0%
Talio Total	mg/kg	0.093	<0.093	0 - 3%	91%	91%	0%
Thorio Total	mg/kg	0.112	<0.112	1 - 3%	88%	104%	1%
Titanio Total	mg/kg	0.251	<0.251	3 - 5%	87%	87%	0%
Uranio Total	mg/kg	0.102	<0.102	2 - 4%	88%	97%	2%
Vanadio Total	mg/kg	4.737	<4.737	2 - 9%	88%	88%	0%
Wolframio Total	mg/kg	0.231	<0.231	1 - 8%	87%	98%	1%
Ytrio Total	mg/kg	0.096	<0.096	0 - 3%	89%	88%	3%
Zinc Total	mg/kg	1.934	<1.934	2 - 6%	95%	101%	1%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2331128 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_EPA3051_6020	Callao	Metales Totales	EPA METHOD 3051A-2007//EPA METHOD 6020B:2014. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils//Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2331128 Rev. 0**

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca (2).

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; 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. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Anexo 3: Registro fotográfico

3.1. Toma de muestra del rio Livitaca



3.2. Habilitación de la estación de control



3.3. Estación de control



3.4. Toma de muestra en la estación de control

Muestra inicial				
5 días				
10 días				
15 días				

Anexo 4: Cadena de custodia del monitoreo de suelos, sedimentos y lodo

**Anexo 5: Informe de ensayo del
muestreo por el periodo de 5, 10 y 15
días: Metales totales**



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2405812 Rev. 0

CABANILLAS ASTACIE ALDO BERNARDO

ENV / LB-353534-002

PROCEDENCIA : COMUNIDAD UCHUCCARCO

Fecha de Recepción SGS : 23-02-2024
Fecha de Ejecución : Del 23-02-2024 al 01-03-2024
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
PROY-01A Estación de control de sedimentos contaminados
PROY-01B Estación de control de sedimentos contaminados
PROY-01C Estación de control de sedimentos contaminados

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 01/03/2024

Frank M. Julcamoro Quispe
C.Q.P. 1033
Supervisor de Laboratorio

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2405812 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PROY-01A Estación de control de sedimentos contaminados 8407304N / 198139E	PROY-01B Estación de control de sedimentos contaminados 8407504N / 198139E	PROY-01C Estación de control de sedimentos contaminados 8407504N / 198139E
PROFUNDIDAD (m)							
FECHA DE MUESTREO					05/02/2024	10/02/2024	15/02/2024
HORA DE MUESTREO					12:00:00	12:00:00	12:00:00
MATRIZ					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales Totales							
Aluminio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	19,909.846	16,881.268	17,550.114
Antimonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	<0.131	<0.131	<0.131
Arsénico Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	16.797	18.855	15.703
Bario Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	87.715	81.192	79.180
Berilio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	1.113	1.085	1.060
Bismuto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	1.145	1.156	1.241
Boro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	<17.195	<17.195	<17.195
Cadmio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	1.321	1.163	1.142
Calcio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	5,569.953	4,966.107	5,404.485
Circonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	1.457	1.243	1.001
Cobalto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	17.918	15.134	14.982
Cobre Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	6,557.023	5,580.058	5,177.951
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	6.061	6.393	6.086
Escandio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	2.628	2.528	2.408
Estaño Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	<0.940	<0.940	<0.940
Estroncio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	41.173	35.847	35.623
Fosforo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	1,317.900	1,238.124	1,187.580
Hierro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	30,451.815	28,282.965	28,653.850
Lantano Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	25.692	22.365	20.530
Litio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	10.4	9.9	10.1
Magnesio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	5,856.539	5,139.209	5,030.938
Manganeso Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	1,077.841	953.977	830.347
Mercurio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	<0.262	<0.262	<0.262
Molibdeno Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	243.434	210.792	218.537
Níquel Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	8.080	7.187	6.611
Plata Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.084	0.268	3.125	3.030	3.228
Plomo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	79.616	74.187	78.172
Potasio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	1,224.750	1,053.893	1,032.505
Selenio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	10.716	9.085	8.034
Sodio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	95.713	84.453	67.207
Talio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	0.202	0.193	0.196



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO
MA2405812 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PROY-01A Estación de control de sedimentos contaminados 8407304N / 198139E	PROY-01B Estación de control de sedimentos contaminados 8407504N / 198139E	PROY-01C Estación de control de sedimentos contaminados 8407504N / 198139E
PROFUNDIDAD (m)							
FECHA DE MUESTREO					05/02/2024	10/02/2024	15/02/2024
HORA DE MUESTREO					12:00:00	12:00:00	12:00:00
MATRIZ					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Metales Totales							
Thorio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	2.451	2.769	2.932
Titanio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	172.704	162.420	171.828
Uranio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	3.158	2.812	2.722
Vanadio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	43.323	38.342	40.194
Wolframio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	17.810	15.912	13.889
Ytrio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	12.803	11.177	10.364
Zinc Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	323.411	288.982	286.126



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



Registro N° LE - 002

INFORME DE ENSAYO
MA2405812 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación
MB: Blanco del proceso.
LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.
MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.
Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Aluminio Total	mg/kg	8.602	<8.602	4 - 6%	97%	93%	10%
Antimonio Total	mg/kg	0.131	<0.131	0 - 7%	101%	103%	0%
Arsénico Total	mg/kg	2.857	<2.857	0 - 9%	94%	112%	0%
Bario Total	mg/kg	0.440	<0.440	1 - 6%	90%	91%	8%
Berilio Total	mg/kg	0.173	<0.173	1 - 9%	104%	100%	2%
Bismuto Total	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 3%	109%	107%	1%
Boro Total	mg/kg	17.195	<17.195	0 - 7%	102%	100%	0%
Cadmio Total	mg/kg	0.144	<0.144	0 - 9%	100%	96%	0%
Calcio Total	mg/kg	208.223	<208.223	0 - 6%	92%	102%	1%
Circonio Total	mg/kg	0.147	<0.147	1 - 3%	96%	97%	0%
Cobalto Total	mg/kg	0.128	<0.128	0 - 6%	91%	101%	3%
Cobre Total	mg/kg	1.136	<1.136	1 - 4%	100%	96%	7%
Cromo Total	mg/kg	1.001	<1.001	2 - 8%	88%	91%	9%
Escandio Total	mg/kg	0.317	<0.317	8 - 11%	100%	98%	12%
Estaño Total	mg/kg	0.940	<0.940	0 - 5%	90%	87%	3%
Estroncio Total	mg/kg	0.822	<0.822	0 - 5%	87%	109%	0%
Fosforo Total	mg/kg	15.157	<15.157	1 - 9%	100%	93%	6%
Hierro Total	mg/kg	29.302	<29.302	3 - 8%	96%	96%	10%
Lantano Total	mg/kg	0.103	<0.103	5 - 12%	88%	96%	0%
Litio Total	mg/kg	3.0	<3.0	1 - 8%	96%	91%	9%
Magnesio Total	mg/kg	17.545	<17.545	2 - 8%	100%	97%	12%
Manganeso Total	mg/kg	0.643	<0.643	0 - 7%	88%	89%	11%
Mercurio Total	mg/kg	0.262	<0.262	0%	95%	92%	0%
Molibdeno Total	mg/kg	0.182	<0.182	0 - 4%	99%	92%	0%
Níquel Total	mg/kg	0.498	<0.498	1 - 8%	91%	94%	12%
Plata Total	mg/kg	0.268	<0.268	0%	96%	97%	0%
Plomo Total	mg/kg	0.346	<0.346	2 - 9%	88%	92%	0%
Potasio Total	mg/kg	42.993	<42.993	1 - 7%	110%	89%	0%
Selenio Total	mg/kg	3.605	<3.605	0 - 5%	99%	101%	2%
Sodio Total	mg/kg	24.136	<24.136	3 - 7%	88%	88%	0%
Talio Total	mg/kg	0.093	<0.093	0 - 7%	94%	93%	0%
Thorio Total	mg/kg	0.112	<0.112	0 - 9%	106%	91%	2%
Titanio Total	mg/kg	0.251	<0.251	0 - 9%	97%	97%	0%
Uranio Total	mg/kg	0.102	<0.102	3 - 9%	94%	93%	0%
Vanadio Total	mg/kg	4.737	<4.737	0 - 4%	97%	104%	1%
Wolframio Total	mg/kg	0.231	<0.231	0%	95%	95%	0%
Ytrio Total	mg/kg	0.096	<0.096	1 - 4%	106%	99%	3%
Zinc Total	mg/kg	1.934	<1.934	0 - 6%	102%	90%	4%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2405812 Rev. 0**

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_EPA3051_6020	Callao	Metales Totales	EPA METHOD 3051A-2007//EPA METHOD 6020B:2014. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils//Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017.



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO
MA2405812 Rev. 0**

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca (2).

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; 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. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

**Anexo 6: Informe de ensayo del
muestreo por el periodo de 5, 10 y 15
días: Granulometría**



**INFORME DE ENSAYO
MA2406384 Rev. 0**

CABANILLAS ASTACIE ALDO BERNARDO

ENV / LB-353534-003

PROCEDENCIA : **COMUNIDAD UCHUCCARCO**

Fecha de Recepción SGS : 23-02-2024

Fecha de Ejecución : Del 23-02-2024 al 09-03-2024

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
PROY-01A Estación de control de sedimentos contaminados
PROY-01B Estación de control de sedimentos contaminados
PROY-01C Estación de control de sedimentos contaminados

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 09/03/2024

Frank M. Julcamoro Quispe

C.Q.P. 1033

Supervisor de Laboratorio



INFORME DE ENSAYO
MA2406384 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PROY-01A Estación de control de sedimentos contaminados 8407304N / 198139E	PROY-01B Estación de control de sedimentos contaminados 8407504N / 198139E	PROY-01C Estación de control de sedimentos contaminados 8407504N / 198139E
PROFUNDIDAD (m)							
FECHA DE MUESTREO					05/02/2024	10/02/2024	15/02/2024
HORA DE MUESTREO					12:00:00	12:00:00	12:00:00
MATRIZ					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SEDIMENTOS	SEDIMENTOS	SEDIMENTOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
Granulometría y Textura							
Arena Gruesa (1.00-0.50 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	6.75	6.99	6.33
Arcilla (<0.002 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	6.14	7.69	7.69
Arena Fina (0.25-0.10 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	46.50	31.01	51.52
Arena Media (0.50-0.25 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	2.47	3.70	3.06
Arena muy Fina (0.10-0.05 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	8.23	5.73	5.23
Arena muy Gruesa (2.00-1.00 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	11.48	11.05	9.42
Clase Textural (2)	ES_NTP339_128	---	--	--	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO	FRANCO ARENOSO
Limo (0.05-0.002 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	18.42	33.84	20.00
Material (<2.00 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	92.18	93.04	85.01
Material (>2.00 mm) (2)	ES_NTP339_128	%	--	--	7.82	6.96	14.99



INFORME DE ENSAYO MA2406384 Rev. 0

CONTROL DE CALIDAD

LC: Límite de cuantificación

MB: Blanco del proceso.

LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.

MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.

MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.

Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	DUP %RPD
Arena Gruesa (1.00-0.50 mm)	%	--	0%
Arcilla (<0.002 mm)	%	--	0%
Arena Fina (0.25-0.10 mm)	%	--	0%
Arena Media (0.50-0.25 mm)	%	--	0%
Arena muy Fina (0.10-0.05 mm)	%	--	0%
Arena muy Gruesa (2.00-1.00 mm)	%	--	0%
Limo (0.05-0.002 mm)	%	--	0%
Material (<2.00 mm)	%	--	0%
Material (>2.00 mm)	%	--	0%



INFORME DE ENSAYO MA2406384 Rev. 0

REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
ES_NTP339_128	Callao	Granulometría y Textura. Partículas menores de 2mm	NTP 339.128, 1ra Ed: 1999, SUELOS. Método de Ensayo para el Análisis Granulométrico (Validado - Modificado)



INFORME DE ENSAYO MA2406384 Rev. 0

NOTAS

Notas:

- El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.
- Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.
- Para el análisis de Granulometría, los resultados corresponden a los retenidos en cada malla para las arenas. Los resultados de limo y arcilla corresponden a las partículas menores a 0.05um. El porcentaje de material 2mm. Se realiza en muestra independiente. No está incluido este porcentaje en la sumatoria del resto de mallas.
- Los resultados de las muestras expresados en mg/Kg se calculan sobre base seca (2).

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; 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. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022