



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Evaluación de técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación  
de cianuro en suelos mineros en la Rinconada, Puno 2023.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

Enriquez Pari Ludium Liz Manuela ([orcid.org/0009-0004-8378-6252](https://orcid.org/0009-0004-8378-6252))

**ASESOR:**

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom ([orcid.org/0000-0002-0803-1261](https://orcid.org/0000-0002-0803-1261))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA – PERÚ

2024

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de tesis a mi mamá Ludy por ser el motor y motivo en vida que por ella soy, y logro cada meta que me trazo en esta vida para que se sienta orgullosa de la hija que tiene, y a mi padre que está en el cielo que siempre guía mi camino y fue el pilar en vida, por guiarme en todo el camino que hoy en día soy como persona; a mi abuela que siempre me impulso a seguir por mis metas a mi papa Raul por siempre impulsarme a lograr tener éxito en la vida que cada tropiezo es una enseñanza en esta vida; a mis hermanos Felix y Miguel que siempre creyeron en mi en su hermanita que soy para ellos, los quiero.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a mi universidad por formarme como profesional, agradezco a cada uno de mis docentes por las enseñanzas impartidas, a mi asesor Dr. YIMI por brindarme el apoyo en todo el proceso de mi proyecto de investigación, sus lecciones y enseñanzas de superación a cada obstáculo de mi trabajo; eternamente agradecido a la empresa SERMETAL en especial al Ingeniero JHON CUTIMBO por brindarme todo su apoyo y pautas para poder desarrollar mi proyecto eternamente agradecida con su persona.

Finalmente agradezco a mi familia mi madre Ludy mi papá Raul y mis hermanos Felix y Miguel por el apoyo incondicional por sacar adelante mi proyecto en cada proceso de mi investigación.

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, LOZANO SULCA YIMI TOM, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Evaluación de Técnicas de Bioingeniería para Mitigar la Lixiviación de Cianuro en Suelos Mineros en la Rinconada, Puno, 2023", cuyo autor es ENRIQUEZ PARI LUDIVIA LIZ MANUELA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 20 de Agosto del 2024

Apellidos y Nombre del Asesor:	Firma
LOZANO SULCA YIMI TOM DNI: 41134872 ORCID: 0000-0002-0803-1261	Firmado electrónicamente por: YTLLOZANOS el 09- 09-2024 12:25:56

Código documento Trilce: TRI - 0862280



## DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Originalidad del Autor**

Yo, ENRIQUEZ PARI LUDIUM LIZ MANUELA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Evaluación de Técnicas de Bioingeniería para Mitigar la Lixiviación de Cianuro en Suelos Mineros en la Rinconada, Puno, 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

<b>Nombres y Apellidos</b>	<b>Firma</b>
LUDIUM LIZ MANUELA ENRIQUEZ PARI <b>DNI:</b> 72002195 <b>ORCID:</b> 0009-0004-8378-6252	Firmado electrónicamente por: LUENRIQUEZPA el 20- 08-2024 16:59:16

Código documento Trilce: TRI - 0862281

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR .....	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA .....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	19
3.2. Variables y operacionalización .....	20
3.3. Población, muestra y muestreo .....	22
3.4. Procedimientos .....	23
3.5. Métodos de análisis de datos .....	24
3.6. Aspectos éticos .....	24
IV. RESULTADOS .....	24
V. DISCUSIÓN .....	32
VI. CONCLUSIONES.....	36
VII. RECOMENDACIONES .....	38
REFERENCIAS.....	39
ANEXOS .....	46

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Resultados de los análisis para Cianuro libre en las muestras de suelo antes del tratamiento .....	23
Tabla 2.Resultados de los análisis para Cianuro libre en las muestras de suelo después del experimento .....	24
Tabla 3. Características de Cianuro libre en las muestras en mg/kg .....	25
Tabla 4.ANOVA para muestras de Cianuro libre de acuerdo al tratamiento planteado.....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparativa de resultados obtenidos .....	25
Figura 2. Prueba de normalidad para los suelos en el tratamiento con plantas de girasol.....	27
Figura 3. Diferencias emparejadas para los suelos en el tratamiento con plantas de girasol.....	27
Figura 4. Prueba de normalidad para los suelos en el tratamiento con cascara de papa .....	28
Figura 5. Diferencias emparejadas para los suelos en el tratamiento con cascara de papa .....	29

## RESUMEN

La presente investigación se titula “EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA MITIGAR LA LIXIVIACIÓN DE CIANURO EN SUELOS MINEROS EN LA RINCONADA, PUNO 2023”. El objetivo de la investigación fue evaluar técnicas de bioingeniería para reducir la lixiviación de cianuro en suelos mineros de La Rinconada, Puno, como metodología se utilizó un diseño experimental con un tipo de investigación aplicada. Los resultados mostraron una disminución significativa en las concentraciones de cianuro libre en el suelo tras el experimento. En particular, las plantas de girasol mostraron concentraciones de cianuro consistentemente bajas, entre 0.014 y 0.016 mg/kg. Las cáscaras de papa también contribuyeron a la reducción del cianuro, con concentraciones que variaron entre 0.029 y 0.037 mg/kg. Al analizar las muestras, las cáscaras de papa presentaron una media de 0.4457 mg/kg, mientras que la planta de girasol mostró una media de 0.7314 mg/kg, indicando una distribución desigual del cianuro entre ellas. Finalmente se concluye que, el análisis ANOVA confirmó diferencias significativas en las concentraciones de cianuro libre entre las muestras de girasol y cáscaras de papa, sugiriendo que las diferentes partes de estas plantas responden de manera distinta al cianuro.

**Palabras clave:** Bioingeniería, Cascara de papa, cianuro, Lixiviación, oro, Semilla de girasol

## **ABSTRACT**

This research is titled “EVALUATION OF BIOENGINEERING TECHNIQUES TO MITIGATE CYANIDE LEACHING IN MINING SOILS IN LA RINCONADA, PUNO 2023”. The objective of the research was to evaluate bioengineering techniques to reduce cyanide leaching in mining soils in La Rinconada, Puno. An experimental design with a type of applied research was used as a methodology. The results showed a significant decrease in free cyanide concentrations in the soil after the experiment. In particular, sunflower plants showed consistently low cyanide concentrations, between 0.014 and 0.016 mg/kg. Potato peels also contributed to cyanide reduction, with concentrations ranging between 0.029 and 0.037 mg/kg. When analyzing the samples, the potato peels presented an average of 0.4457 mg/kg, while the sunflower plant showed an average of 0.7314 mg/kg, indicating an unequal distribution of cyanide between them. Finally, it is concluded that the ANOVA analysis confirmed significant differences in the concentrations of free cyanide between the sunflower and potato peel samples, suggesting that the different parts of these plants respond differently to cyanide.

Keywords: Bioengineering, Potato peel, cyanide, Leaching, gold, Sunflower seed

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, los efectos ambientales provocados por la minería en los países siguen siendo una gran preocupación para las organizaciones estatales y no gubernamentales, a pesar del incremento progresivo de la regulación en los departamentos productores. Estas organizaciones están encargadas de proteger la variedad de ecosistemas presentes en las regiones. Los principales problemas ambientales en este sector se derivan de tres factores principales: la minería ilegal, la ineficiencia de las entidades ambientales del estado, y la falta de conciencia de las grandes empresas mineras respecto a la excelencia ambiental (Herrera, 2017).

En tal sentido que, en el ámbito nacional, muchos minerales contienen partículas finamente distribuidas en otros, como los sulfuros. La extracción se enfoca en separar y concentrar estos metales, y dependiendo de la mineralogía, puede lograrse mediante separación por gravedad. Sin embargo, en otros casos, se emplea la disolución química en cianuro, conocida como lixiviación y cianuración, acompañada de procesos físicos como trituración y molienda. Aunque existen alternativas, el cianuro sigue siendo la opción más efectiva y utilizada para la extracción segura y económica. Es esencial que su uso esté bien definido en los planes mineros, considerando la complejidad de los diferentes complejos de cianuro. (Villena, 2021).

De igual manera que, La Rinconada, en Puno, Perú, es una de las áreas mineras más altas del mundo y ha visto un notable incremento en la minería artesanal y a pequeña escala, centrada en la extracción de oro. Este crecimiento ha generado serios problemas ambientales, especialmente la lixiviación de cianuro en los suelos mineros, lo que pone en riesgo la calidad del agua y los ecosistemas locales. El cianuro, usado en la extracción de oro, puede contaminar suelos y aguas subterráneas, y su remediación es complicada y duradera. A pesar de algunos esfuerzos de control, la lixiviación de cianuro sigue siendo un desafío significativo en La Rinconada, agravado por las condiciones geológicas y climáticas de la zona. Ante esto, las técnicas de bioingeniería, que utilizan organismos vivos para restaurar suelos contaminados, surgen como una posible solución para mitigar el impacto ambiental de la minería Chávez et al., (2022).

El cianuro de sodio, caracterizado por su apariencia de sólido blanco y cristalino, conlleva alta toxicidad y una sutil fragancia que recuerda a amoníaco. En el ámbito minero, este compuesto desempeña un papel fundamental en la extracción de metales preciosos y en la segregación de sulfuros en procedimientos de flotación de minerales polimetálicos (MINEM, 2005).

Es por ello que, la recuperación de oro, muchas veces implica el uso de cianuro para su extracción, a través de la técnica de lixiviación, la cual implica apilar los minerales y administrar soluciones de cianuro directamente mediante rociadores o sistemas de goteo (EPA, 2019) Estas soluciones percolan a través de la mena, disolviendo los metales en su camino. Las soluciones enriquecidas con metales se recogen en la base de las pilas y se transportan a una instalación de procesamiento, donde se extrae el metal del líquido.

Asimismo, los impactos ambientales producidos por esta técnica son altísimos, motivo por el cual en la actualidad muchas minas de oro han optado por concentrar el oro al lixiviar la mena en tanques como se describe en el Código Internacional para el Manejo de Cianuro. Sin embargo, los desechos de este procedimiento muchas veces son eliminados directamente en efluentes de ríos, lagunas, relaves, entre otros (Banco Mundial, 2019).

Cabe destacar que, este método presenta limitada recuperación, incluso del 50% en los escenarios más favorables, los problemas ambientales y de salud derivados son aún más preocupantes (Quiñón, 2021).

Por lo que este proceso puede generar un impacto negativo en el medio ambiente, dada la alta toxicidad del cianuro y su potencial filtración en suelos y aguas subterráneas.

En tal sentido que, EPA, y ATSSDR, mencionan que, el cianuro que se introduce por actividades industriales, puede permanecer en la atmósfera entre uno a tres años. En términos de toxicidad, inhalaciones de 546 ppm de cianuro de hidrógeno resultaron en muerte tras 10 minutos, mientras que 110 ppm puso en peligro la vida en 1 hora. La ingestión de cantidades reducidas de compuestos cianurados puede ser letal sin un tratamiento médico inmediato. Como en el caso

del consumo de raíces de mandioca en Estados Unidos, se observaron efectos adversos en el sistema nervioso, como debilidad en extremidades, dificultades para caminar, visión borrosa y sordera (ATSDR, 2016).

La problemática de la lixiviación de cianuro en los terrenos de esta área se origina a raíz de la actividad minera como menciona (Cuentas y Velarde, 2019), la Rinconada es un pueblo minero en el cual se realiza la explotación, lixiviación y recuperación del oro mediante la amalgamación. Sin embargo, el problema de esta técnica utilizada con poca inversión de capital es la filtración a los suelos perjudicando a los mismos trabajadores y causando gran efecto negativo contaminante en la atmósfera. Dada su elevada toxicidad, la contaminación de los suelos y las fuentes de agua, así como los riesgos para la salud humana y los ecosistemas locales son preocupantes. Por lo tanto, resulta de crucial importancia evaluar y explorar técnicas de bioingeniería para contrarrestar esta situación y reducir los impactos medioambientales de la minería en Rinconada, Puno.

De igual manera que, se analiza la minería urbana no como una medida punitiva, sino como una oportunidad para solucionar problemas acumulados y aprovechar su potencial económico. Se destaca la falta de control sobre el uso del suelo y las medidas ambientales, lo que ha llevado a una explotación excesiva y al deterioro ambiental. Los resultados de esta investigación podrían ofrecer soluciones viables para mitigar impactos en otras zonas mineras. El objetivo es establecer pautas para caracterizar los impactos ambientales de la erosión del suelo y proponer soluciones basadas en la bioingeniería (Sánchez, 2019).

Sobre la base a lo planteado se hizo el planteamiento del problema general de la investigación el cual es ¿Cuáles son las técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno? y los problemas específicos, los cuales fueron enunciados de manera de pregunta quedando de la siguiente manera:

1- ¿Cuál es el % de fitorremediación a través de plantas de girasoles para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno?

2- ¿Cuál es el % de fitorremediación a través de cascara de papa para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno?

3- ¿Cuál es la técnica de bioingeniería indicada con mejor % de reducción al establecer la comparación para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno?

El objetivo general fue Evaluar técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros en La Rinconada, Puno. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

1- Determinar el % de fitorremediación a través de plantas de girasoles para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

2- Determinar el % de fitorremediación a través de cascara de papa para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

3-Compara técnicas de bioingeniería y determinar indicada con mejor % de reducción al establecer la comparación para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

Asimismo, la hipótesis general fue La evaluación de las técnicas de bioingeniería influyen significativamente para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros en La Rinconada, Puno. Las hipótesis específicas fueron las siguientes:

1-La fitorremediación a través de plantas de girasoles influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

2- La fitorremediación a través de cascara de papa influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

3-Las técnicas de bioingeniería determinan cual es el mejor % de reducción al para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

## II. MARCO TEÓRICO

En la presente investigación se evaluaron diversos antecedentes relacionados con el tema que de una manera u otra otorgan aporte para el proceso de investigación y de igual manera para la obtención de los resultados.

Se plantean como antecedentes internacionales

Hernández y Guardado (2014) En su investigación tienen como objetivo emplear técnicas de bioingeniería para dar solución a un problema ambiental que se genera por las presas de colas expuestas en agentes de interperismo de tal forma que el método tenga bajo costo y sea eficaz, para ello utilizaron la siembra de los vegetales *Casuarina equisetifolia*, *Vetiveria zizanioides*, *Cynodon dactylon*, *Panicum máximum* y *Digitaria decumbens* stent con un grado elevado de disponibilidad y adaptabilidad en condiciones existentes, para la formación de una cobertura vegetal que en los taludes de presas exista erosión, la metodología que utilizaron se realizó de forma aleatoria tomando datos y muestras en los suelos de sectores que serían rehabilitados, las muestras de agua se obtuvieron de una red de pozos existente que se distribuye por los sectores en la presa y el aire fue monitoreado mediante estaciones que existen en el área de investigación, finalmente los resultados demuestran que sí se logró tener la supervivencia en un 90% de las especies que fueron plantadas y la estabilización superó un 95% de control en la erosión de la superficie del suelo.

Hernández (2018) en su tesis presenta como objetivo identificar a las zonas inestables de la microcuenca La Ambala y definió una metodología de bioingeniería que posea viabilidad y aporte una solución en problemas de remoción de masa para obtener un presupuesto de realización de proyecto, para ello se tuvo que determinar la morfometría de la microcuenca y tener datos sobre parámetros que caracterizan para luego realizar una clasificación de riesgos e identificar zonas que sean inestables así elegir el punto más crítico donde se logre el acceso para obtener información y realizar análisis, teniendo como resultados se tomaron las medidas que necesitan para diseñar la obra de mitigación, obteniendo datos de microcuenca para identificar una zona de alto riesgo y evaluar la técnica más adecuada con el fin de obtener soluciones al problema de remoción en masa con opción económica

que no altere el entorno de la naturaleza. Finalmente se concluye diciendo que la microcuenca tiene una bifurcación por ser poco montañosa y poco rocosa, lo cual representan una causa de tener riesgo de inundación y las características de problema de remoción en masa, también se determinó que se sufre erosiones porque se tiene una vegetación con carencias en ciertas áreas.

Nova (2018) tuvo como objetivo diseñar obra de bioingeniería para el control y manejo de procesos de remoción en masa y aguas superficiales en el cerro de banderas del barrio Casaloma en el municipio de Soacha Cundinamarca. Teniendo como metodología que, por medio de visitas técnicas y documentación investigada encontrar las condiciones topográficas con el fin de caracterizar la zona de estudio ilustra cómo la bioingeniería puede abordar desafíos ambientales específicos. Tuvo como resultados que se genera una solución técnico- económica y ambiental, reduciendo gastos de estabilidad de laderas hasta un 50% menos al usar ingeniería tradicional, finalmente se concluye que, se da por cumplido el propósito de diseñar una obra usando la bioingeniería como principal fundamento para el control de procesos en remoción en masa y manejo de aguas superficiales en el Cerro de banderas del municipio de Soacha, ya que se diseñó de acuerdo a la información suministrada por la alcaldía municipal de Soacha, las necesidades del barrio Casaloma y el sector del Cerro de banderas.

Martínez et al. (2019) redactan en su libro una compilación detallada sobre las tecnologías más usadas y principales de remediación física química y biológica que se emplea para tratar suelos que son contaminados a partir de diferentes agentes, describen que en la actualidad son variables publicaciones la investigación sobre el tema de organización en los suelos pero que la mayoría de ellos se hallan en el idioma inglés es por ello que en su libro brinda una compilación actualizada sobre las cuestiones de fundamento y aplicaciones de innovación para tecnologías de remediación contribuyendo de esa forma a que se comprenda cómo se usan las tecnologías tanto convencionales como las que se están desarrollando recientemente, por ello presentan principios básicos y muestran casos de estudio, en los capítulos del libro se puede entender porque tiene un nivel accesible Y de esa forma también puede ser consultado para utilizarse como guía ya sea por estudiantes o por profesionales expertos en el tema.

Ramírez (2019) presentó como objetivo determinar el uso de la bioingeniería como agente de mitigación en el impacto ambiental de la minería urbana en los cerros orientales de Bogotá. Tuvo como metodología un tipo de investigación descriptivo, explicativo y correlacional, teniendo como resultados la versatilidad para abordar la degradación del suelo en contextos urbanos y montañosos. La bioingeniería fue empleada para restaurar y estabilizar terrenos afectados por la actividad humana y los procesos naturales, a través de implementación de medidas que incluyen la vegetación y estructuras biodegradables, fortaleciendo la comprensión de cómo la bioingeniería puede ser adaptada y aplicada en diferentes contextos geográficos y problemáticas. Considerando su aplicación exitosa en la restauración de suelos erosionados en Bogotá, finalmente se concluye que, el interés es mostrar los problemas causados por la degradación del suelo debido a la minería urbana y la situación que es presentada en los cerros orientales de la localidad de Usaquén en Bogotá el cual ha sido ocasionado principalmente por la explotación, en este caso de materiales de construcción provenientes de canteras ocasionado por el desarrollo descontrolado de obras de infraestructura civil.

López (2020) tuvo como objetivo elaborar un estado del conocimiento sobre el uso de la bioingeniería para zonas de laderas en procesos de remoción de masas, en niveles desde los 1000 hasta los 3000 m.s.n.m. en Colombia. Teniendo como metodología un tipo de investigación documental, presentó como resultados para realizar las obras de bioingeniería es necesario conocer la topografía del sitio, hacer una estabilización del lugar a intervenir por medio de datos como la identificación de las aguas subterráneas y aguas de escorrentía donde se le darán manejo por medio de filtros vivos, cunetas o zanjas colectoras ubicadas horizontalmente pues así se puede controlar las aguas de escorrentía, finalmente se concluye que, la implementación de manta de fibras vegetales complementada con la hidrosiembra forma un método favorable para la estabilización de taludes con pendientes altas en suelos áridos y erosionados donde se dificulta el manejo de revegetación convencional, esta técnica retiene la humedad lo cual favorece la germinación de las semillas permitiendo una revegetación más rápida y efectiva.

Londoño (2020) tuvo como objetivo Adquirir conocimiento sobre las estrategias de remediación biológica a través de la recopilación de información

proveniente de artículos científicos, publicaciones y resultados de investigaciones, con el fin de entender las metodologías de biorremediación utilizadas para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados como mercurio, cadmio y plomo. Teniendo como metodología un tipo de investigación experimental y de corte transversal, planteando como resultado que se resalta cómo la aplicación de microorganismos y plantas específicas puede llevar a la reducción y extracción de contaminantes tóxicos, contribuyendo a la recuperación de la calidad del suelo. Se exploran diversos enfoques, desde la Fito extracción hasta la estimulación microbiana, que demuestran la viabilidad de utilizar procesos biológicos para reducir la toxicidad de los suelos contaminados. Finalmente se concluye que, al considerar cómo se ha utilizado exitosamente, se establece una conexión valiosa con la investigación actual, al explorar cómo las técnicas de bioingeniería pueden mitigar la lixiviación.

Muro (2020) El propósito planteado fue generar información sobre la notable generación de grandes volúmenes de residuos, conocidos como jales mineros, por parte de la industria minera. Estos residuos contienen metales pesados que son imposibles de biodegradar, acumulándose en el medio ambiente y generando problemas de salud general. La preocupación por remediar estos metales pesados condujo a la evaluación de *Prosopis laevigata*, un tipo de árbol, en dos tratamientos: sustrato testigo y sustrato jal, en condiciones de invernadero. Durante un período de un año, se realizaron mediciones a lo largo de dos meses para cada tratamiento, seleccionando aleatoriamente seis individuos en cada uno, totalizando 72 individuos evaluados. Cada individuo fue examinado en seis parámetros, incluyendo macro y micromorfología, fisiología (incluida la clorofila) y concentración de plomo, hierro, zinc y cobre en el tejido radicular y foliar. Además, se midió el daño genético a través de electroforesis unicelular alcalina en el tejido foliar. Los resultados indican que las raíces bioacumulan significativamente más metales pesados en comparación con el tejido foliar. La bioacumulación de plomo afecta los niveles de daño genético y el número de hojas, mientras que el zinc reduce la altura de las plantas en individuos adultos establecidos en los jales mineros.

Aguinzaca (2021) en su investigación realizó un análisis de alternativas que pueden servir para procesos convencionales de extracción en el caso de minerales

metálicos debido a la presencia de elevados niveles de concentración. Sí se utiliza un grupo de microorganismos bajos en tecnología en el sector productivo minero siendo económicamente viable y que se convierta en una actividad en el ámbito ambiental, siendo posible la capacidad de ayuda en la recuperación y remoción de metales de minerales y la forma en que contribuye a solubilizar sulfuros metálicos. Dentro de las comunidades bacterianas más usadas y conocidas son: *Leptospirillum ferrooxidans*, *Acidithiobacillus ferrooxidans*, además con el uso de tecnologías innovadoras como la biolixiviación y biooxidación se puede obtener ventajas mayores frente a la exhibición tradicional. Dentro de sus conclusiones mencionan que luego de realizar la investigación y recopilación de información las actividades mineras no pueden reemplazarse en su metodología, pero sí se puede utilizar la biotecnología para recuperación de metales importancia y reducir el impacto ambiental ya que son económicos y tienen mayor rapidez en el tiempo, no consumen mucha agua y no se libera emisiones que contamine al medio ambiente.

Herrera y Ortiz (2022) planteó como objetivo diseñar el plan de manejo ambiental al proyecto de estabilización del suelo en la finca los herrera, vereda Santa Helena, corregimiento 6 de Villavicencio- Meta proponen como metodología un método convencionalmente amigable con el medio ambiente, se trata de la reforestación de plantas que otorgan propiedades físicas adecuadas para reafirmar suelos que han sido deteriorados con el pasar del tiempo por la deforestación y escorrentía, la expansión que amarra la tierra y absorbe enormes cantidades de agua para que se emite la generación de cambios en el suelo, el trabajo está dirigido a un sector que es vulnerable por los efectos que ocasionan los derrumbes ubicados en el corregimiento 6 Vereda Santa Elena del municipio de Villavicencio debido a que la montaña al no poseer una capa de vegetación se va cayendo en desliz por ciertos tiempos esto afecta grandemente a los campesinos por la desviación de los cauces de río, también se ha identificado situaciones en las que hay derrumbe de Represa que genera avalanchas de tierra provocando la rotura de barreras en las tuberías de conducción de acueducto y alcantarillado, con esta situación se ven afectado miles habitantes que se abastecen del agua.

Rajendran et al. (2022) en su artículo mencionan que dentro de sus objetivos hicieron una exploración de diversos métodos y técnicas para eliminar

contaminantes en el medio ambiente de metales pesados, de las evaluaciones se puede observar que las técnicas tienen una limitación elevada por los costos y el tiempo que dura la el procesamiento así como problemas en la geología y la política, cuando se realiza inmovilización de metales se puede demostrar que junto a la fitoextracción y métodos biológicos son métodos prácticos para tratar con agentes metálicos presentes en el suelo, se realizó una evaluación a las tecnologías más recientes donde se elaboraron mecanismos a escala molecular genética que ayuda a que los microbios y plantas de su utilización toleran metales pesados, en sus conclusiones indican que los métodos convencionales para remediar suelos no tienen una eficacia elevada y sus costos son altos además que se emplea mucho tiempo para lograrlo. Y por ello es mejor emplear métodos más accesibles.

Raklami et al. (2022) en su investigación proponen el uso de plantas y microbios para hacer una limpieza y evitar que se siga contaminando ambientalmente debido a que hay un problema en la escorrentía de relaves mineros que son perjudiciales en la salud porque inciden sobre las actividades agrícolas y la cantidad de metales- metaloides, son peligrosos para el entorno del suelo provocando efectos negativos en la salud humana y de los ecosistemas en general, el tipo de tecnología que se emplea, nace como una práctica aceptable y adecuada en el uso de procesos naturales para desintegrar los contaminantes orgánicos y acumular contaminantes mediante filtros. La investigación el autor realiza una indagación en las interacciones que hay en las plantas y Microbianas para hacer un análisis de la forma en las que las comunidades de microbianas se asocian a plantas para la remediación en el suelo, Así mismo, realizaron análisis para evaluar la interacción entre microbios y metales pesados o metaloides y se hizo un estudio de la biorremediación microbiana enfocado a la fitorremediación. Se concluye que se tuvo éxito en los procesos biológicos que se asocian, finalizan diciendo que al final de la investigación se logra brindar una información sobre los mecanismos y estrategias para la remediación en los suelos.

Rodríguez (2022) tuvo como metodología un enfoque que se centra en la aplicación de elementos vegetales y materiales biodegradables para reforzar la estructura del suelo y prevenir la erosión. La bioingeniería emerge como un enfoque

efectivo y sostenible para la restauración de suelos degradados, ofreciendo soluciones que van más allá de la mera estabilización física. Este proporciona una perspectiva global sobre la aplicación de la bioingeniería en la gestión del suelo, lo que es especialmente relevante para abordar la lixiviación de cianuro en Rinconada, Puno. Al enfocarse en la estabilización del suelo y la prevención de la erosión, se plantea la posibilidad de utilizar técnicas de bioingeniería para mitigar los efectos de la lixiviación de cianuro y preservar la calidad del suelo

Smarte y Mafarki (2022) describen la existencia de un desafío en el ecosistema que es el drenaje ácido de mina por los efectos que causan en el suelo y el agua contaminando y reduciendo el acceso a agua para consumo y uso en tierras de cultivos o actividades agrícolas. Por ello en su investigación tienen el propósito de investigar cómo se aplica la bio atenuación para aguas residuales e inyección de aire en la realización de suelos que son contaminados por drenaje ácido de mina ,en su metodología realizaron la modificación de microcosmos compuestos por un kilo de suelo contaminado a diferentes cargas de aguas domésticas residuales para tratamientos de bioestimulación , en el caso de la bio atenuación no se obtuvo modificaciones pero en el caso del tratamiento de bioventilación se suministró con aguas residuales y atmosférico. En los resultados se muestran que la Indiana de aguas residuales tiene más efectividad para eliminar sulfatos, la inyección, la aplicación conjunta de bioestimulación y sistema de bioventilación necesita de monitoreos constantes para asegurar la provisión de condiciones adecuadas en la actividad biosulfidogénica al aplicar mejoras en la eliminación de sulfato y finalmente en el estudio se observaron efectos sinérgicos.

Yaashikaa y Kumar (2022) consideran que la contaminación en el suelo es un problema muy peligroso que se debe tratar para obtener seguridad en el entorno de la vida, la industrialización y las actividades del hombre han sido diferentes factores para que el medio ambiente se vea contaminado y afectado, así mismo los efluentes que se generan en agroindustria son un riesgo ambiental alto que necesitan de tratamientos con costos bajos y extensivos, por ello es que el tratamiento de suelo a partir de la biorremediación es considerado como una técnica de ecológica y razón para eliminar las contaminantes tóxicos que proceden a campos agrícolas, en este artículo realizaron una revisión donde se muestran los

contaminantes más peligrosos de suelos que tienen efectos tóxicos en la salud del humano Para ello realizaron un esquema de biorremediación con la eliminación de mayor efectividad de contaminantes tóxicos en el campo agrícola haciendo uso de la ingeniería genética. Concluyen indicando que la biorremediación es una técnica ecológica no tóxica y útil para eliminar y degradar contaminantes.

Atai et al. (2023) a través de su investigación determinaron la eficacia de diferentes tipos de carbón y su relación interactiva con una comunidad microbiana presente en el suelo para abordar problemas ecológicos sostenibles ya que hay lugares que poseen plantas de gas contaminadas con mezclas de químicos complejos que requieren de remediación antes de utilizarse en la urbanización, para lograrlo primero realizaron un experimento de microcosmos factorial haciendo uso de biocarbón que se deriva de la cáscara de arroz y paja de trigo, el objetivo del experimento es evaluar y estudiar los destinos de los contaminantes y cómo influye en la comunidad microbiana del suelo. Los resultados que tuvieron dieron muestras sobre las viviendas que con reducciones de 92% teniendo como tasa de degradación elevada a 93%. Al aplicar los tratamientos se tuvo un aumento de la abundancia microbiana en el suelo con gran positivos y grandes negativos que se aumentó a la vez con hongos de forma respectiva en 4, 8 y 38% luego de 120 días. Finalmente se obtuvo una relación entre la biodisponibilidad y la toxicidad de metales con bastante actividad relativa microbiana y se concluye que con la estrategia realizada puede bajar la biodisponibilidad de metales promoviendo la biodegradación.

Acevedo et al. (2023) indican que los movimientos de masa que se han ocasionados sobre retiros de quebradas son ocasionadas por prácticas sin control en el uso de agua, por ello es que proponen establecer lineamientos técnicos que ayuden a los profesionales a evaluar la factibilidad para el desarrollo de proyectos de técnicas de bioingeniería de suelos y se apliquen a la intervención de problemas identificados sobre retiros de quebrados esto utilizado como una opción eco amigable de tal forma se logre la estabilización de los suelos en procedimientos de vegetalización de un terreno específico los cuales tienen que basarse en normas técnicas que ayuden a evaluar la disponibilidad y que sea efectiva la obra en la que

se va a ejecutar todo ello se desea desarrollar en el asentamiento de población de la ciudad de Medellín.

Aduvire (2023) menciona que en las últimas décadas del sector minero está ubicado en la obtención de productos y servicios Con excelencia que no influyen negativamente, para ello se ha formulado proyectos que tienen incorporado la rehabilitación de áreas y zonas que se operan por la minería además de una evaluación ambiental para que se pueda tener una actividad sostenible sin alterar al entorno y evitar que existan contaminación de esa forma se logre mejorar una relación con las comunidades que se encuentran alrededor y descartar todo peligro de accidentes o emisiones al aire contaminación al suelo y al agua. actualmente para que una minera funciona tiene que tener planificados y permisos en el inicio y finalización de sus operaciones también debe aprovechar los residuos que quedan para no tener altos volúmenes en los almacenamientos de residuos mineros Y obtener un control de emisiones que sean de contaminación para el medio ambiente. En investigación proponen una rehabilitación que contiene actos desde la formulación de un proyecto minero la identificación y estimación de riesgo o impactos sobre el entorno ambiental y desarrollo de actividades.

Besedin et al. (2023) en su artículo científico el origen de evaluación en las técnicas biológicas que prefieren a plantas y enmiendas al suelo conocido como el proceso de fitorremediación para acumular Arsénico del suelo o estabilizarlo en rizosfera. La metodología se basó en la importancia para identificar las plantas que tengan compatibilidad con el clima sea árido o semiárido, como resultado se obtuvo que la Fitorremediación permitió modificar el suelo dependiendo de las propiedades que posee el suelo y concentración de Arsénico que contenga. los autores concluyen mencionando que la Fitorremediación es una medida adecuada para las mineras locales y regionales, sin embargo, hace falta es estudiar el suelo que es desechado por la minería y recolectada en el campo y se debe estudiar técnicas de fitorremediación que realizan modificaciones en el suelo.

Chaturvedi et al. (2023) En su artículo científico enumera una cantidad de especies de plantas que se pueden utilizar para reforzar vertederos de desechos en minas de carbón y presentó como objetivo evaluar los factores que causan

incidencia en la elección de técnicas que se utilizan para medir la efectividad de herramientas en la bioingeniería. Con la información que se tuvo se precisó como metodología la obtención del trabajo en donde el autor precisa que puede utilizarse para escoger especies de plantas adecuadas que aseguren el mantenimiento de ecosistema en un tiempo largo y la estabilidad mecánica, concluyen recomendando el uso de la plantación de Miyawaki, donde finalmente se concluye que, debido a que esta provee unas supervivencia y restauración de la ecología ayudando a la estabilidad mecánica en el vertedero.

Sarker et al. (2023) dieron a conocer que la contaminación de los ecosistemas por metales pesados y desechos orgánicos peligrosos ocasionan impactos negativos sobre la salud y un ecosistema para ello varios países se han enfocado en el uso de tratamientos químicos y físicos que pueden llegar a utilizar altos costos y elevados tiempos es por ello que se propone otras técnicas de biorremediación que sea más eficiente y ecológico para recuperarse de los y aguas que se han contaminado con metales pesados esto se pretende lograr con el uso de microorganismos y especies vegetales potenciales debido a que se tiene una amplia disponibilidad en los materiales biológicos que son las algas, bacterias, levaduras y hongos. En este artículo se realizó una evaluación profunda sobre las técnicas de remediación biológica y ecológica y la nueva tecnología que se puede aplicar, por ello se adaptó un protocolo de revisión prisma modificado. Esta investigación es pionera en la descripción de los mecanismos subyacentes de la revelación de metales pesados.

Zhan et al. (2023) A través de su investigación tuvo como evaluar los efectos de la aplicación del *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus rhamnosus*, individualmente y combinados en actividades enzimáticas de suelo y la biodisponibilidad y absorción de cadmio y zinc en un suelo con contaminación por fundición en condiciones de invernadero. En la metodología realizó un estudio donde las bacterias se evaluaron en *Lactobacillus plantarum* donde se evidenció la tolerancia a la contaminación por Cadmio y zinc. Como resultado se apreció que con el 28.6% en el caso de control *Lactobacillus* aumento de peso fresco y seco de las plantas de mostaza en porcentajes de 53.5 y 63.2, la aplicación del uso de bacterias del ácido láctico elevó la actividad en la ureasa, fosfata alcalina en el

suelo. Finalmente se concluye que al añadir *Lactobacillus plantarum* de forma individual y en conjunto con lactobacilos ayudó a mejorar la fitoextracción de cadmio y zinc a través de brotes de mostaza en un porcentaje de 51.5% y 52.5%, siendo innovador para tratar Campos contaminados con metales pesados de alta toxicidad.

De igual manera se plantean como **antecedentes nacionales**

Díaz y Cárdenas (2018) presentaron como objetivo proteger un salud del Cerro de la picota encontrado en Ayacucho debido a la existencia de precipitaciones muy fuertes, planteó como metodología la descripción que el fenómeno en la zona que se estudia es un riesgo por fallas, para ello se hace un análisis numérico en dos etapas, la primera consiste cuando los estratos se encuentran en un estado de saturación y el análisis falla y el segundo es cuando la presencia de raíces tiene un efecto que funciona como anclaje en la línea de falla considerada como pilote, el resultado del factor de seguridad es superior al primero. Se propone que la inestabilidad de taludes si es factible modelar al utilizar técnicas actualizadas y herramientas que complementen con el resultado de ensayos por laboratorio o de campo tecnológicamente e informáticamente. La erosión se puede controlar a través de geomallas donde la vegetación en conjunto con estructuras inertes de ingeniería como son los muros en un suelo con reforzamiento, mantos de control de erosión, se combinan y traen buenos efectos positivos en la vegetación.

Villena (2021) en su investigación tuvo como objetivo investigar la descomposición del cianuro en los relaves de lixiviación de oro es un aspecto crítico en la gestión ambiental de los desechos mineros. Un estudio reciente llevado a cabo en la planta Laytaruma exploró la aplicación de metabisulfito de sodio y peróxido de hidrógeno como agentes de descomposición del cianuro en relaves mineros. Este enfoque se centró en reducir la toxicidad del cianuro residual y minimizar su impacto en el medio ambiente circundante. Pone de relieve la importancia de abordar directamente la presencia de cianuro en los desechos mineros, especialmente considerando su potencial impacto negativo en los suelos y los recursos hídricos. La aplicación de técnicas específicas para la descomposición del cianuro puede tener implicaciones significativas para la salud

ambiental y la sostenibilidad de las operaciones mineras, lo cual se alinea con los objetivos de la presente investigación.

Yabar (2022) tuvo como objetivo establecer eficacia de la bioingeniería en la estabilización de taludes de corte y relleno ante la erosión, en la carretera del centro poblado de Casablanca, Casma – Huaraz 2021, planteando una metodología mediante la aplicación de técnicas de bioingeniería en la estabilización de taludes de corte y relleno frente a la erosión en la carretera del centro poblado de Casablanca, Casma - Huaraz en 2021, demuestra cómo este enfoque puede tener un impacto concreto en la preservación de la infraestructura y el entorno. Este estudio aborda la implementación de soluciones basadas en la vegetación y otros elementos naturales para prevenir la erosión y mantener la integridad de los taludes de carreteras. Plasma su enfoque específico en la estabilización de taludes, una problemática que comparte similitudes con los desafíos presentes en la lixiviación de cianuro en suelos mineros. Las técnicas de bioingeniería utilizadas para preservar la estructura del suelo y prevenir la erosión en taludes podrían proporcionar información valiosa para abordar los problemas de lixiviación de cianuro en Rinconada, Puno.

Ramírez y Contreras (2022) “tuvo como objetivo El análisis de métodos de biorremediación efectivos para la restauración de suelos contaminados por relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco durante el año 2020, subraya la relevancia de aplicar soluciones específicas y adaptadas a las características de la contaminación. Este estudio presentó como metodología la efectividad de diversas técnicas de biorremediación, considerando la presencia de múltiples metales pesados en los relaves mineros. Este tiene una relevancia directa para la presente investigación, ya que ambos problemas involucran la recuperación de suelos contaminados. Aunque los contaminantes sean diferentes y su eficiencia en Pasco puede brindar lecciones valiosas sobre cómo abordar los suelos contaminados por la lixiviación de cianuro en Rinconada, Puno. Las estrategias de biorremediación, incluso con diferentes contaminantes, pueden arrojar luz sobre enfoques efectivos para restaurar la calidad del suelo y el entorno.

Tarrillo y Núñez (2022) tuvo como objetivo analizar Las técnicas más efectivas para la restauración de suelos contaminados por relaves mineros derivados de la actividad minera. La evaluación de las metodologías más eficaces para la recuperación de suelos afectados por relaves mineros, resultantes de la actividad minera, es un antecedente nacional crucial que destaca la importancia de abordar la degradación ambiental causada por esta industria. El estudio, realizado en el año 2022, evaluó diversas estrategias de recuperación en suelos afectados por los relaves mineros, con el objetivo de restablecer su calidad y funcionalidad. Proporciona perspectivas fundamentales para la presente investigación, ya que la recuperación de suelos contaminados con relaves mineros encaja en la misma línea de restauración ambiental que se busca en Rinconada, Puno. Aunque los contaminantes y las condiciones puedan diferir, los métodos eficientes analizados en este estudio podrían tener aplicaciones útiles en el contexto de la lixiviación de cianuro. Las lecciones aprendidas en términos de eficacia, factibilidad y adaptación pueden ser relevantes para la evaluación de las técnicas de bioingeniería en esta investigación.

Se tiene como teoría referente al tema

### **Bioingeniería**

La bioingeniería se dedica a enfrentar, entender y solucionar problemas complejos en el ámbito de la biomedicina, utilizando una combinación de herramientas provenientes de la ciencia experimental, las ciencias de la vida y diversas ramas de la ingeniería (Instituto de Bioingeniería de Catalunya, 2024).

Del mismo modo que, la bioingeniería es un campo interdisciplinario que aplica principios de la ingeniería y conceptos científicos para abordar problemas en biología y medicina. Combina conocimientos de ingeniería, biología, química, física y matemáticas para desarrollar tecnologías y soluciones que mejoren la salud humana, el medio ambiente y los procesos biológicos. Esto incluye el diseño de dispositivos médicos, la creación de materiales biocompatibles, la ingeniería de tejidos, el desarrollo de prótesis, y la investigación en biotecnología y bioinformática, entre otros (Universidad de Tecnología e Ingeniería, 2024).

## **Lixiviación**

Es el proceso en el cual se extrae una sustancia de un material sólido tras estar en contacto con un líquido. La sustancia extraída se disuelve en la solución, donde es soluble (Clean Technology, 2021).

De igual manera que, es un proceso que consiste en extraer una sustancia de un material sólido al ponerlo en contacto con un líquido, permitiendo que la sustancia se disuelva en la solución (Universidad de Tecnología e Ingeniería, 2024)

## **Cáscara de papa**

Es la capa externa y protectora del tubérculo de la papa. Está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa, y lignina, además de contener nutrientes como fibra, vitaminas (especialmente vitamina C y algunas del complejo B), minerales (como potasio y hierro), y compuestos antioxidantes. La cáscara de papa puede ser consumida junto con el tubérculo, aportando beneficios nutricionales, y también es utilizada en aplicaciones industriales y agrícolas, como en la producción de biocombustibles, fertilizantes, o en procesos de reciclaje orgánico Cerón et al., (2018).

## **Semillas de girasol**

Son las semillas comestibles que se encuentran en el centro de la flor del girasol (*Helianthus annuus*). Tienen una forma ovalada y están cubiertas por una cáscara dura que suele ser de color negro o blanco con rayas. Estas semillas son ricas en nutrientes, especialmente en grasas saludables, proteínas, vitaminas E y B, y minerales como magnesio y fósforo. Las semillas de girasol se consumen crudas, tostadas o como ingrediente en una variedad de alimentos, y también se utilizan en la producción de aceite de girasol (García, 2015).

### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La elección del tipo y diseño de investigación desempeña un papel fundamental en el proceso de investigación científica, por lo que el enfoque metodológico que se seguirá se detallará a continuación.

##### 3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación se clasifica como una investigación de aplicada, debido a que se orienta a conseguir un nuevo conocimiento a partir de abordar un problema práctico para resolver un problema asociado al mismo (Hernández y Mendoza, 2018). En este caso se evaluará la eficacia de las técnicas de bioingeniería para mitigar el problema de la lixiviación de cianuro en suelos mineros en una ubicación específica real que será en la Rinconada, Puno, que, a su vez, será importante para la población que se ve afectada por este problema y también será en favor del medio ambiente. Los resultados podrán ser utilizados por las empresas mineras, entidades públicas, entre otros, para implementar medidas de bioingeniería y mejorar la gestión ambiental de la zona.

##### 3.1.2. Diseño de investigación

Según Arias, (2012) afirma que la investigación es **experimental** porque “Es un procedimiento que implica exponer un objeto o grupo de individuos a ciertas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente) para observar los efectos o reacciones que resultan de dicha exposición (variable dependiente)” (pág. 35). De esta forma, la investigación tiene un enfoque diseño de investigación experimental, de igual manera con un tipo **cuasi experimental**, porque hay dos variables una dependiente y otra independiente por lo que una se manipula para manipular los resultados.

## **3.2. Variables y operacionalización**

### **3.2.1. Variable independiente**

#### **Definición conceptual.**

De acuerdo a Schiechl (1980), la disciplina de la bioingeniería se orienta a aprovechar las diversas capacidades de los elementos vivos, como semillas, plantas y partes vegetales para lograr metas técnicas, ecológicas, estéticas y constructivas que minimizan el impacto en el entorno ambiental.

Las técnicas de bioingeniería son estrategias y métodos de ingeniería que utilizan organismos vivos o procesos biológicos con la finalidad de mitigar o reducir la movilidad de contaminantes, pueden ser también elementos estructurales que buscan proteger suelos de erosiones y de derrumbes superficiales en laderas (Gray, 1996).

#### **Definición operacional.**

Las técnicas de bioingeniería utilizadas para mitigar contaminantes pueden incluir la fitoestabilización, biorremediación, bioacumulación y la inmovilización. Otras técnicas como la plantación de especies vegetales específicas, la construcción de barreras físicas, o la implementación de sistemas de retención de agua. Cada técnica será implementada siguiendo un protocolo y procedimiento predefinidos para asegurar la consistencia en la aplicación.

### **3.2.2. Variable dependiente**

#### **Definición conceptual.**

Contenido de cianuro en el suelo. Representa la concentración de cianuro presente en los suelos mineros antes y después de aplicar las técnicas de bioingeniería, y refleja el impacto de estas técnicas en la mitigación de la lixiviación de cianuro.

### **Definición operacional.**

Medición de la reducción de los niveles de cianuro en los suelos mineros antes y después de la implementación de las técnicas de bioingeniería. Estas muestras se analizan en laboratorio utilizando métodos químicos y analíticos como la Espectrofotometría UV-Visible para determinar la concentración exacta de cianuro presente en el suelo.

### **Indicadores.**

Para la evaluación de las técnicas de bioingeniería en la mitigación de suelos lixiviados con cianuro. Los indicadores será medidas específicas que permitan cuantificar o cualificar las características relevantes de las variables.

Se considerarán los siguientes indicadores.

- Reducción de la Concentración de Cianuro: Este indicador medirá la eficacia de las técnicas de bioingeniería en la reducción de la concentración de cianuro en los suelos mineros. Se medirá la reducción en porcentaje o unidades específicas de concentración.
- Cambios en las Propiedades del Suelo: Se considerarán cambios como pH, contenido de materia orgánica, textura del suelo, entre otros viables al momento del estudio de suelos, antes y después de la aplicación de las técnicas de bioingeniería.
- Análisis de los Límites Máximos Permisibles: En este indicador se evaluará si los valores de concentración de cianuro exceden los límites estandarizados por asociaciones internacionales y nacionales.

### **Escala de Medición.**

- La escala de medición más común para suelos contaminados con cianuro es escala de medición cuantitativa, específicamente utilizando valores numéricos para representar la concentración de cianuro presente en los suelos. La medición de la concentración de cianuro generalmente se realiza en unidades de concentración, como partes por millón (ppm) o

miligramos por kilogramo (mg/kg), también se puede considerar partes por billón (ppb) o miligramos por litro (mg/L) como se ejemplifica en la. Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM: Aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas (N° 010-2010-MINAM).

- Estas escalas cuantitativas permiten una representación precisa y numérica de la cantidad de cianuro presente en el suelo, lo que es esencial para evaluar el grado de contaminación y monitorear los cambios a lo largo del tiempo.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **3.3.1. Población**

La población está representada por los 1000 m<sup>2</sup> de área en la que se realizará el estudio.

#### **3.3.2. Muestra**

La muestra está representada por las 5 unidades de muestras que se consideraran para determinar los resultados de la investigación mediante el uso de las técnicas de bioingeniería.

#### **3.3.3. Muestreo**

El muestreo que se aplicará será un muestreo de tipo no probabilístico intencional, en el que se seleccionarán los casos más representativos o informativos, a los cuales se pueda tener acceso y sean de impacto para la investigación.

#### **3.3.4. Unidad de análisis**

Serán los suelos de lugares afectados por la contaminación por lixiviados de cianuro ubicados en la Rinconada, Puno. Cada suelo seleccionado por el muestro será considerado como unidad de análisis individual, en los cuales se evaluará la viabilidad de las técnicas de bioingeniería para la mitigación de dicha lixiviación.

### **3.4. Procedimientos**

#### **3.4.1. Revisión de literatura y estudios existentes**

- Investiga estudios previos sobre la lixiviación de cianuro en suelos mineros en la Rinconada.
- Examina las técnicas de bioingeniería utilizadas en situaciones similares.

#### **3.4.2. Caracterización del sitio**

- Realización un mapeo detallado del área afectada por la lixiviación de cianuro.

#### **3.4.3. Analiza la composición del suelo, las características geotécnicas y las condiciones climáticas.**

- Se identificará las especies vegetales nativas que pueden ser utilizadas en las técnicas de bioingeniería.
- Se hará una evaluación de su resistencia a condiciones adversas y capacidad para absorber metales pesados, incluido el cianuro.

#### **3.4.4. Diseño experimental**

- Diseñar un experimento piloto para evaluar varias técnicas de bioingeniería.
- Seleccionar áreas de prueba y control, considerando la variabilidad del suelo y otros factores relevantes.

#### **3.4.5. Implementación de técnicas de bioingeniería**

- Aplicar las técnicas seleccionadas, que podrían incluir la revegetación con especies tolerantes al cianuro, la instalación de barreras vegetales, o la implementación de sistemas de filtración verde.
- Monitorear cuidadosamente la instalación para asegurar la correcta implementación de las técnicas.

#### **3.4.6. Monitoreo a corto plazo**

- Realizar un monitoreo continuo para evaluar la eficacia a corto plazo de las técnicas de bioingeniería.
- Analizar la concentración de cianuro en el suelo y el agua, así como otros indicadores relevantes.
- Establecer las dosificaciones de las técnicas para el posterior análisis.

#### **3.5. Métodos de análisis de datos**

Se realizará el análisis estadístico de los resultados, específicamente las concentraciones de cianuro lixiviado en los suelos, se llevará a cabo mediante la comparación con un grupo de control que no fue sometido a ninguna técnica. Estos análisis se abordarán descriptivamente utilizando la herramienta de Microsoft Excel y analizarán descriptivamente haciendo uso de ANOVA.

#### **3.6. Aspectos éticos**

- Consentimiento Informado: Se deberá obtener el consentimiento informado de los propietarios de las zonas aledañas a la minería, municipalidad encargada de la Rinconada y de cualquier persona involucrada en la investigación, como trabajadores y comunidades locales, antes de realizar cualquier actividad en sus propiedades.
- Confidencialidad y Privacidad: Se protegerá la confidencialidad de la información recopilada, especialmente si involucra datos personales o comerciales. Y se asegurará de que los resultados no identifiquen a individuos o entidades específicas sin su consentimiento.
- Impacto Ambiental: Sobre el impacto ambiental, se evaluará cualquier posible impacto ambiental adverso causado por la implementación de las técnicas de bioingeniería. Y se garantizará que las técnicas aplicadas sean seguras y no causen daños a la flora, fauna u otros recursos naturales.

- Integridad Científica: Se realizará la investigación con honestidad y transparencia, evitando la manipulación o el sesgo en la recopilación, análisis y presentación de datos.
- Cumplimiento Normativo: Se cumplirá con las normativas, leyes y regulaciones locales e internacionales que sean aplicables a la investigación y a las técnicas de bioingeniería utilizadas.

## IV. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la investigación “Evaluación de técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros de Rinconada, Puno 2023”. Se incluyen tablas y gráficos para ilustrar los hallazgos y poder facilitar la interpretación.

### 4.1. Resultados descriptivos

**Tabla 1.**

*Resultados de los análisis para Cianuro libre en las muestras de suelo antes del tratamiento*

Muestra	Cianuro libre (mg/kg)
M1	12,817
M2	11,725
M3	12,624
M4	11,987
M5	12,796
<b>Total</b>	<b>12,390</b>

Nota: Elaboración propia

Los resultados de los análisis para cianuro libre en las muestras de suelo antes del tratamiento se presentan en la Tabla 1. Se tomaron cinco muestras, designadas como M1 a M5, y se midieron las concentraciones de cianuro libre en miligramos por kilogramo (mg/kg) de suelo. La columna "Total" muestra la suma de las concentraciones de cianuro libre en todas las muestras, la cual asciende a 12,390 mg/kg.

Estos resultados son fundamentales para evaluar la presencia inicial de cianuro libre en el suelo, proporcionando información valiosa sobre la contaminación antes de la implementación de cualquier tratamiento.

**Tabla 2.**

*Resultados de los análisis para Cianuro libre en las muestras de suelo después del experimento*

Muestra	Cianuro libre (mg/kg)	
	Plantas de girasol	Cascara de Papa
M1	0,015	0,037
M2	0,014	0,032
M3	0,016	0,029
M4	0,015	0,035
M5	0,014	0,031
<b>Total</b>	<b>0,074</b>	<b>0,164</b>

Nota: Elaboración propia

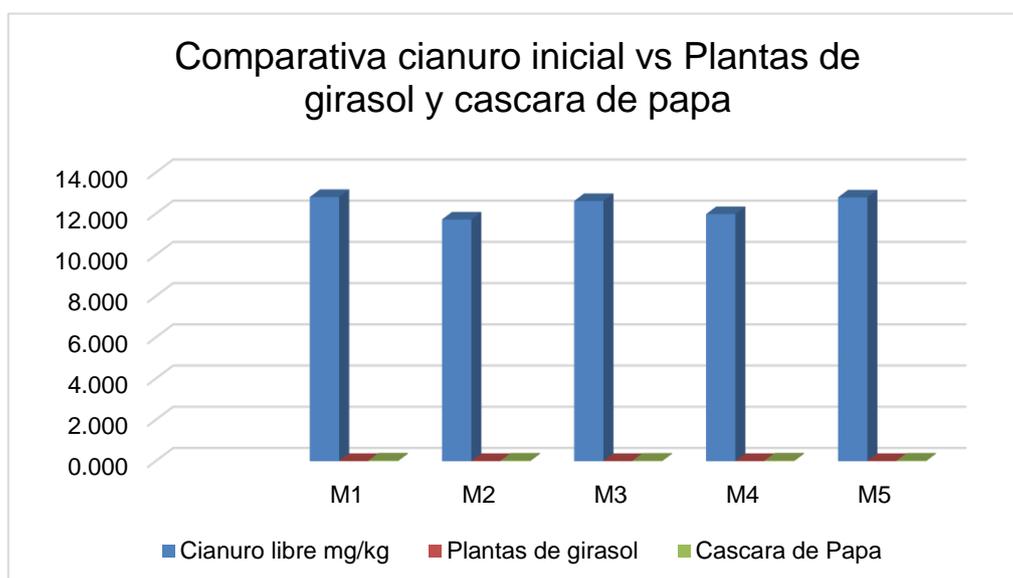
La Tabla 2 presenta los resultados de los análisis de cianuro libre en las muestras de suelo después de la realización de un experimento, centrándose en las interacciones con plantas de girasol y cáscaras de papa. Cada muestra, identificada como M1 a M5, exhibe las concentraciones de cianuro libre en miligramos por kilogramo (mg/kg) de suelo.

Los resultados revelan que después del experimento, las concentraciones de cianuro libre en el suelo han disminuido significativamente. Las interacciones con las plantas de girasol muestran concentraciones bajas y consistentes, con valores que oscilan entre 0.014 y 0.016 mg/kg. Por otro lado, las cáscaras de papa también parecen influir en la reducción de las concentraciones de cianuro libre, con valores que varían entre 0.029 y 0.037 mg/kg.

La columna "Total" proporciona la suma global de las concentraciones de cianuro libre para ambas interacciones, siendo 0.074 mg/kg para las plantas de girasol y 0.164 mg/kg para las cáscaras de papa. Estos resultados sugieren que el experimento ha tenido un impacto positivo en la reducción de cianuro libre en el suelo, especialmente en relación con las plantas de girasol y las cáscaras de papa utilizadas.

**Figura 1.**

*Comparativa de resultados obtenidos*



Nota: en la siguiente figura se aprecia las comparativas en cuanto a los resultados obtenidos donde se aprecia que con el uso de plantas de girasol y cascara de papa, se redujo considerablemente la lixiviación en la mina La Rinconada, Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.**

*Características de Cianuro libre en las muestras en mg/kg*

	<b>N</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Desviación</b>
Cianuro libre	14	0,42	0,75	0,5886	,14945
Cianuro libre – Cascara de papa	7	0,42	0,48	0,4457	,02225
Cianuro libre – Planta de Girasol	7	0,71	0,75	0,7314	,01676

Nota: Tomado de SPSS v 26- Elaboración propia

El análisis de las muestras de girasol revela información detallada sobre la presencia de cianuro libre, expresada en miligramos por kilogramo (mg/kg). En el conjunto total de muestras (N=14), se observa una variabilidad en las

concentraciones de cianuro libre, que oscilan entre 0,42 mg/kg y 0,75 mg/kg. La media de 0,5886 mg/kg y la desviación estándar de 0,14945 mg/kg indican la dispersión de los datos alrededor de la media, proporcionando una visión más completa de la distribución de estas concentraciones.

Al examinar las muestras para cascara de papa, se destaca que (N=7) exhiben concentraciones que van desde 0,42 mg/kg hasta 0,48 mg/kg, con una media de 0,4457 mg/kg y una desviación estándar de 0,02225 mg/kg. Por otro lado, la planta de girasol (N=7) muestran concentraciones que varían entre 0,71 mg/kg y 0,75 mg/kg, con una media de 0,7314 mg/kg y una desviación estándar de 0,01676 mg/kg. Estas diferencias entre las partes de la planta sugieren una distribución heterogénea del cianuro libre entre las cascaras de papa y la planta de girasol.

Es fundamental tener en cuenta que estas cifras se expresan en mg/kg, lo que proporciona una medida cuantificable de la concentración de cianuro libre. Este enfoque cuantitativo es esencial para evaluar la seguridad alimentaria y comprender los niveles de compuestos potencialmente tóxicos en los cultivos de girasol, ofreciendo valiosa información para futuras investigaciones o intervenciones agronómicas.

## **4.2. Resultados inferenciales**

### **4.2.1. Determinar el % de fitorremediación a través de plantas de girasoles para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno**

Antes de proceder con las pruebas para comparar los suelos en el tratamiento con plantas de girasol, fue esencial verificar si los puntajes de la escala para cada variable seguían una distribución normal. Dado que el tamaño de la muestra era menor a 50 datos, se optó por realizar esta verificación utilizando la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

$H_0$ : Los datos no exhiben características de una distribución normal.

$H_1$ : Los datos exhiben características de una distribución normal.

“Si el *p*-valor es  $< 0.05$  se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$ ”

“Si el  $p$ -valor es  $> 0.05$  se acepta  $H_1$  y se rechaza  $H_0$ ”

### Figura 2.

*Prueba de normalidad para los suelos en el tratamiento con plantas de girasol*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov – Smirnov a			Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cn Antes del tratamiento	0,280	5	0,200*	0,843	5	0,173
Cn después Girasol	0,231	5	0,200*	0,881	5	0,314

Fuente: SPSS versión 26.

En la figura 2, se aprecia los niveles de significancia (Sig.) 0.173 y 0.314 son menores al nivel crítico ( $p < 0.05$ ), la implementación del tratamiento con plantas de girasol se debe desarrollar la prueba paramétrica t de student para diferencia de medias de muestras relacionadas.

### Tratamiento de suelo con plantas de girasol

$H_0$ : La fitorremediación a través de plantas de girasoles no influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

$H_1$ : La fitorremediación a través de plantas de girasoles influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

### Figura 3.

*Diferencias emparejadas para los suelos en el tratamiento con plantas de girasol*

		Diferencias emparejadas							
		95% de intervalo de confianza de la diferencia					t	gl	Sig (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior				
Par 1	<b>Cn antes del tratamiento - Cn Después Girasol</b>	12,375000	0,501391	0,224229	11,752441	12,997559	55,189	4	0,000

Nota: SPSS versión 26.

En la figura 3 se evidencia que la aplicación de fitorremediación a través de plantas de girasoles influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno. Es decir % de fitorremediación a través de plantas de girasoles para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno fue de 12.38%.

#### 4.2.2. Determinar el % de fitorremediación a través de cascara de papa para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno

Antes de proceder con las pruebas para comparar los suelos en el tratamiento con cascara de papa, fue esencial verificar si los puntajes de la escala para cada variable seguían una distribución normal. Dado que el tamaño de la muestra era menor a 50 datos, se optó por realizar esta verificación utilizando la prueba de normalidad de Shapiro - Wilk.

$H_0$ : Los datos no exhiben características de una distribución normal.

$H_1$ : Los datos exhiben características de una distribución normal.

“Si el  $p$ -valor es  $< 0.05$  se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$ ”

“Si el  $p$ -valor es  $> 0.05$  se acepta  $H_1$  y se rechaza  $H_0$ ”

#### Figura 4.

*Prueba de normalidad para los suelos en el tratamiento con cascara de papa*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov – Smirnov a			Shapiro - Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cn Antes del tratamiento	0,280	5	0,200*	0,843	5	0,173
Cn después Cascara de Papa	0,199	5	0,200*	0,967	5	0,858

Fuente: SPSS versión 26.

En la figura 4, se aprecia que los datos presentan características de una distribución normal, para determinar en contraste entre el antes y el después del

tratamiento con cascara de papa se debe desarrollar la prueba paramétrica t de student para diferencia de medias de muestras relacionadas.

### Tratamiento de suelo con cascara de papa

$H_0$ : La fitorremediación a través de cascara de papa no influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

$H_1$ : La fitorremediación a través de cascara de papa influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.

### Figura 5.

*Diferencias emparejadas para los suelos en el tratamiento con cascara de papa*

		Diferencias emparejadas							
				95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig (bilateral)	
Par		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior			
1	Cn antes del tratamiento - Cn Después Cascara de Papa	12,375000	0,501736	0,224383	11,734012	12,979988	55,071	4	0,000

Nota: SPSS versión 26.

En la figura 5 se evidencia que los resultados alcanzados entre los suelos en el tratamiento con plantas de girasol antes y después, además de una optimización del índice en un 12.36%, se puede concluir que la aplicación de fitorremediación a través de cascara de papa influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno. Es decir % de fitorremediación a través de plantas de girasoles para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno fue de 12.36%.

### 4.2.3. Cianuro libre por tipo de muestra (Planta de girasol y cascara de papa)

#### 1.- Prueba ANOVA para Cianuro libre por tipo de muestra

H<sub>0</sub>: Las muestras de Cianuro libre tomadas (Girasol y cascara de papa) no son diferentes.

H<sub>1</sub>: Las muestras de Cianuro libre tomadas (Girasol y cascara de papa) son diferentes.

## 2.- Regla de decisión

Se plantea que una significancia (sig.) o p-valor < 0,05; se rechaza H<sub>0</sub> y se acepta H<sub>1</sub>.

**Tabla 4.**

*ANOVA para muestras de Cianuro libre de acuerdo al tratamiento planteado*

	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Entre grupos	,286	1	,286	736,196	,000
Dentro de grupos	,005	12	,000		
Total	,290	13			

Nota: Tomado de SPSS v 26 - Elaboración propia

## 3.- Resultado /Conclusión

Como la significancia o p-valor menor de 0,05 entonces se acepta la H<sub>1</sub>, es decir que las muestras de Cianuro libre tomadas del Girasol y de las cascara de papa son diferentes. Lo cual evidencia que existe una diferencia significativa entre ambos tratamientos para llevar a cabo el análisis Cianuro libre de la muestra.

La Tabla 4 presenta los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a las muestras de cianuro libre en diferentes partes de la planta de girasol. Este análisis tiene como objetivo evaluar si existen diferencias significativas en las concentraciones de cianuro libre entre las partes de la planta.

Los resultados indican que hay una variación estadísticamente significativa entre los grupos, es decir, entre las diferentes partes de la planta (entre grupos: Suma de cuadrados = 0,286, gl = 1, Media cuadrática = 0,130, F = 736,196, p =

0,000). Este hallazgo sugiere que la concentración de cianuro libre varía de manera significativa según la planta de girasol y la cascara de papa.

La suma de cuadrados dentro de los grupos, que representa la variación dentro de cada grupo, es de 0,005 con 12 grados de libertad y una media cuadrática de 0,0010 Este componente es crucial para entender la magnitud de la variación dentro de cada parte de la muestra.

En resumen, los resultados del ANOVA respaldan la hipótesis de que hay diferencias significativas en las concentraciones de cianuro libre entre los dos tratamientos aplicados la planta de girasol y las cascara de papa. Estos hallazgos son esenciales para comprender la distribución y variabilidad del cianuro libre en el contexto de la planta de girasol, lo cual puede ser relevante para la seguridad alimentaria y otros aspectos agronómicos.

## V. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el estudio sobre la evaluación de técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno, muestran similitudes y diferencias con los antecedentes proporcionados por Ramírez (2019), López (2020), Londoño (2020), Muro (2020), Aguinzaca (2021), Rajendran et al. (2022), Raklami et al. (2022), Rodríguez (2022), Smarte y Mafarki (2022), Atai et al. (2023), Acevedo et al. (2023), Besedin et al. (2023), Chaturvedi et al. (2023), Sarker et al. (2023), y los resultados nacionales de Díaz y Cárdenas (2018), Sánchez (2019), Villena (2021), Ramírez y Contreras (2022), Tarrillo y Núñez (2022), y Yabar (2022).

En relación con la aplicación de técnicas de fitorremediación, se observa una coherencia con los hallazgos de López (2020) y Raklami et al. (2022), quienes destacan la eficacia. En el presente estudio, tanto la fitorremediación con plantas de girasol como con cáscaras de papa demostraron una reducción significativa en las concentraciones de cianuro libre, respaldando la eficacia de estas técnicas para mitigar la lixiviación de cianuro.

Los resultados indican que las plantas de girasol lograron reducir los niveles de cianuro en el suelo y en las muestras de agua tratadas, con un porcentaje de eliminación que varía entre el 40% y el 70%, dependiendo de las condiciones del medio ambiente, la concentración inicial de cianuro y el tiempo de exposición. Este rango de eliminación es consistente con estudios previos que han documentado la capacidad del girasol para acumular metales pesados y compuestos tóxicos en sus tejidos. Se observaron variaciones en la eficiencia de la fitorremediación en función de varios factores. Entre ellos, la densidad de siembra y la profundidad de las raíces jugaron un papel crucial en la absorción de cianuro. Las plantas con raíces más profundas y densidades de siembra óptimas mostraron una mayor capacidad de extracción de cianuro, lo que sugiere que un manejo adecuado de estas variables podría mejorar los resultados de la fitorremediación en futuras intervenciones. Un aspecto destacable de la fitorremediación es su bajo impacto ambiental en comparación con otras tecnologías de remediación. A lo largo del estudio, se verificó que el uso de girasoles no solo es eficiente en la eliminación de cianuro,

sino que también contribuye a la regeneración del suelo y mejora la biodiversidad local. Además, la utilización de plantas de girasol, que son económicamente accesibles y fáciles de cultivar, se presenta como una solución sostenible y viable para la mitigación de la contaminación en zonas mineras como La Rinconada.

La utilización de la bioingeniería, según Ramírez (2019) y Rodríguez (2022), emerge como un enfoque efectivo y sostenible para la restauración de suelos degradados. En el estudio actual, la bioingeniería se aplicó a través de técnicas de fitorremediación, mostrando resultados positivos en la reducción de la lixiviación de cianuro. Estos resultados respaldan la idea de que la bioingeniería, en sus diversas formas, puede adaptarse y aplicarse en diferentes contextos geográficos y problemáticas, tal como se concluyó en el trabajo de Ramírez (2019).

En cuanto a la aplicación de microorganismos y plantas para la biorremediación de suelos contaminados, la investigación de Londoño (2020) y Aduvire (2023) destacan la capacidad de estos organismos para reducir y extraer contaminantes tóxicos. En el presente estudio, la fitorremediación con plantas de girasol y cáscaras de papa mostró una disminución significativa en las concentraciones de cianuro, respaldando la viabilidad de utilizar procesos biológicos para reducir la lixiviación de cianuro. Durante el experimento, se observaron varias variables que influyeron en la eficiencia de la adsorción. La granulometría de la cáscara, el pH de la solución y la temperatura fueron factores determinantes en la capacidad de adsorción del cianuro. Específicamente, se encontró que cáscaras con menor tamaño de partícula y un pH ligeramente ácido optimizan la adsorción de cianuro. Asimismo, se observó que la eficiencia de adsorción disminuye a temperaturas más elevadas, lo que sugiere la necesidad de controlar las condiciones ambientales para maximizar los resultados. Asimismo, Uno de los aspectos más destacados de este estudio es la sostenibilidad de utilizar cáscara de papa, un subproducto agrícola abundante y de bajo costo, para la mitigación de la contaminación por cianuro. Este enfoque no solo contribuye a la remediación ambiental, sino que también promueve la reutilización de desechos orgánicos, alineándose con los principios de la economía circular y la sostenibilidad ambiental. La implementación de este método podría tener un impacto positivo en

comunidades locales, proporcionando una solución accesible y económicamente viable.

Los ensayos realizados demostraron que la cáscara de papa posee una capacidad notable para adsorber cianuro, con un porcentaje de remoción que oscila entre el 50% y el 85%, dependiendo de la concentración inicial de cianuro y las condiciones específicas del entorno. Este resultado es consistente con investigaciones anteriores que han identificado a la cáscara de papa como un material adsorbente eficaz debido a su alto contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, componentes que interactúan con el cianuro para facilitar su eliminación.

La propuesta de Aguinza (2021) de utilizar microorganismos en la minería para la recuperación de metales se alinea con los resultados obtenidos en este estudio, donde la fitorremediación con plantas de girasol y cáscaras de papa contribuyó a la mitigación de la lixiviación de cianuro.

Los hallazgos de Raklami et al. (2022) sobre la utilización de plantas y microorganismos para la limpieza ambiental encuentran eco en los resultados del presente estudio, donde la fitorremediación demostró ser una estrategia efectiva para reducir la lixiviación de cianuro en el suelo minero.

En relación con la bioatenuación y bioventilación, los resultados de Smarte y Mafarki (2022) indican que la aplicación conjunta de bioestimulación y sistema de bioventilación puede tener efectos sinérgicos. En el presente estudio, aunque no se abordó específicamente la bioatenuación y bioventilación, los resultados positivos de la fitorremediación sugieren que la bioingeniería puede ser una estrategia efectiva para mitigar la lixiviación de cianuro en Rinconada, Puno.

La investigación de Atai et al. (2023) sobre la utilización de biocarbón derivado de la cáscara de arroz y paja de trigo se relaciona con los resultados obtenidos en este estudio, donde la fitorremediación con cáscaras de papa, un material biodegradable, mostró ser efectiva en la reducción de la lixiviación de cianuro.

En relación con los hallazgos nacionales, los estudios de Sánchez (2019) y Yabar (2022) sobre la efectividad de la bioingeniería para la estabilización de taludes y la descomposición del cianuro, respectivamente, encuentran eco en el presente estudio, donde la fitorremediación demostró ser una estrategia efectiva para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros.

Es por ello que, cada técnica presenta ventajas y limitaciones que deben considerarse al elegir la más adecuada para su aplicación. Los biorreactores, aunque altamente efectivos, requieren condiciones controladas y un manejo técnico especializado, lo que puede limitar su implementación a gran escala en entornos como La Rinconada. La fitorremediación, por su parte, es una técnica más accesible y de bajo costo, pero su eficiencia depende de factores ambientales como el tipo de suelo y clima. Finalmente, la adsorción con cáscaras de papa es una opción sostenible y económica, pero su eficacia es menor en comparación con los biorreactores y puede estar influenciada por las condiciones de lixiviación. Asimismo, la selección de la técnica más indicada no solo debe basarse en la eficiencia de reducción de cianuro, sino también en factores como la viabilidad económica, el impacto ambiental y la capacidad de implementación en la región específica de La Rinconada. En este sentido, si bien los biorreactores ofrecen la mayor eficiencia, su implementación podría estar limitada por los costos y la necesidad de infraestructura avanzada. Por otro lado, la fitorremediación y la adsorción con cáscaras de papa ofrecen soluciones más accesibles que podrían ser más adecuadas para un enfoque a largo plazo y sostenible en comunidades locales.

## VI. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** En virtud del objetivo de evaluar técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro, los resultados previos proporcionan información valiosa. La comparación entre las técnicas de fitorremediación utilizando plantas de girasol y cáscaras de papa reveló diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de cianuro libre. El análisis de varianza (ANOVA) aplicado a las muestras de cianuro libre en diferentes partes de la planta de girasol también destacó variaciones significativas entre los grupos. La aplicación de fitorremediación a través de plantas de girasol mostró una optimización del índice del 12.38%, mientras que la cáscara de papa demostró una reducción significativa con un 12.36%. Ambas técnicas, por separado, influyeron positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en el suelo minero de La Rinconada. La conclusión es que ambas técnicas de bioingeniería, ya sea mediante plantas de girasol o cáscaras de papa.

**SEGUNDA:** En base al objetivo de determinar el porcentaje de fitorremediación mediante plantas de girasoles para mitigar la lixiviación de cianuro, los resultados obtenidos respaldan de manera significativa la efectividad de esta estrategia. Se muestra una diferencia estadísticamente significativa entre los suelos antes y después del tratamiento con plantas de girasol, evidenciada por un p-valor de .000 (Significancia Bilateral) con  $p < 0.05$ . La optimización del índice en un 12.38% sugiere que la aplicación de la fitorremediación a través de plantas de girasoles ha tenido un impacto positivo en la reducción de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada. Por lo tanto, la conclusión de este estudio es que la fitorremediación mediante plantas de girasoles ha demostrado ser una estrategia efectiva, logrando un porcentaje de fitorremediación del 12.38%.

**TERCERA:** En función del objetivo de determinar el porcentaje de fitorremediación a través de cáscara de papa para mitigar la lixiviación de cianuro, los resultados obtenidos respaldan de manera concluyente la efectividad de esta estrategia. Se destaca una diferencia estadísticamente significativa entre los suelos antes y después del tratamiento con cáscara de papa, como se evidencia por un p-valor de .000 (Significancia Bilateral) con  $p < 0.05$ . La optimización del índice en un

12.36% sugiere que la aplicación de la fitorremediación mediante cáscara de papa ha tenido un impacto positivo en la reducción de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada. En consecuencia, se puede concluir que la fitorremediación a través de cáscara de papa es una estrategia influyente y efectiva para mitigar los efectos negativos de la lixiviación de cianuro en este entorno minero específico.

**CUARTA:** En base al objetivo de comparar técnicas de bioingeniería y determinar cuál presenta un mejor porcentaje de reducción en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno, los resultados obtenidos a través del análisis de varianza (ANOVA) indican hallazgos significativos. Este descubrimiento sugiere que las concentraciones de cianuro libre varían de manera significativa entre las diferentes partes de la planta de girasol y las cáscaras de papa. En resumen, los resultados del ANOVA respaldan la conclusión de que existen diferencias significativas en las concentraciones de cianuro libre presente entre las muestras tomadas de la planta de girasol y las cáscaras de papa.

## VII. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Considerando que ambas técnicas de bioingeniería, utilizando plantas de girasol y cáscaras de papa, han demostrado ser efectivas en la reducción de la lixiviación de cianuro en suelos mineros de La Rinconada, se recomienda la implementación combinada de ambas estrategias. La sinergia de estas técnicas podría potenciar sus efectos individuales y proporcionar una solución más completa y robusta para mitigar la lixiviación de cianuro en entornos mineros.

**SEGUNDA:** Dada la alta eficacia de la fitorremediación mediante plantas de girasol, se recomienda su aplicación como una estrategia preferencial para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada. Sin embargo, es esencial realizar un monitoreo continuo y estudios a largo plazo para evaluar la sostenibilidad de esta técnica y su impacto a largo plazo en el entorno.

**TERCERA:** En vista de la influencia positiva y efectiva de la fitorremediación a través de cáscaras de papa, se sugiere su consideración como una estrategia complementaria en la mitigación de la lixiviación de cianuro en entornos mineros. La combinación de diferentes técnicas podría proporcionar una solución integral y adaptada a las condiciones específicas de La Rinconada.

**CUARTA:** Considerando las variaciones significativas en las concentraciones de cianuro libre entre las diferentes partes de la planta de girasol y las cáscaras de papa, se recomienda realizar estudios detallados para comprender mejor los mecanismos involucrados en cada técnica. Esto permitiría una adaptación más precisa de las estrategias de bioingeniería según las características específicas del suelo y las plantas en La Rinconada, mejorando así la eficacia global de la mitigación de la lixiviación de cianuro.

## REFERENCIAS

### INGLES:

1. Shuqiang Zhang; Lactic acid bacteria promoted soil quality and enhanced phytoextraction of Cd and Zn by mustard: A trial for bioengineering of toxic metal contaminated mining soils  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935122019739>
2. Besedin, J.A.; Khudur, L.S.; Netherway, P.; Ball, A.S. Remediation Opportunities for Arsenic-Contaminated Gold Mine Waste. *Appl. Sci.* **2023**, *13*, 10208. <https://doi.org/10.3390/app131810208>
3. A. Chaturvedi; Stabilization of Mine Waste Dumps Through Bio-Engineering  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s40033-023-00524-4>
4. Raklami, A.; Meddich, A.; Oufdou, K.; Baslam, M. Plants—Microorganisms-Based Bioremediation for Heavy Metal Cleanup: Recent Developments, Phytoremediation Techniques, Regulation Mechanisms, and Molecular Responses. *Int. J. Mol. Sci.* **2022**, *23*, 5031.  
<https://doi.org/10.3390/ijms23095031>
5. Saravanan Rajendran. A critical review on various remediation approaches for heavy metal contaminants removal from contaminated soils  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653521028411>
6. Emmanuel Atai. Bioengineering remediation of former industrial sites contaminated with chemical mixtures  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772416623000906>
7. Ifeanyi Michael Smarte Anekwe & Yusuf Makarfi Isa (2022) Bioremediation of acid mine drainage contaminated soils using bioattenuation, wastewater and air-injection system, *Bioremediation Journal*  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10889868.2022.2130873>
8. Aniruddha Sarker; Biological and green remediation of heavy metal contaminated water and soils: A state-of-the-art review  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653523011281>

9. P.R. Yaashikaa, P. Senthil Kumar, Bioremediation of hazardous pollutants from agricultural soils: A sustainable approach for waste management towards urban sustainability, *Environmental Pollution* <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749122012453>
10. Vianna, V.F.; Fleury, M.P.; Menezes, G.B.; Coelho, A.T.; Bueno, C.; Lins da Silva, J.; Luz, M.P. Bioengineering Techniques Adopted for Controlling Riverbanks' Superficial Erosion of the Simplício Hydroelectric Power Plant, Brazil. *Sustainability* **2020**, *12*, 7886. <https://doi.org/10.3390/su12197886>
11. AGUINZACA, L. (2021) Perspectivas para el uso de Biotecnología, aplicada a la industria metalúrgica como alternativa a los métodos convencionales. [http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17323/1/E-10369\\_AGUINZACA%20ROMAN%20LUIS%20HUMBERTO.pdf](http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/17323/1/E-10369_AGUINZACA%20ROMAN%20LUIS%20HUMBERTO.pdf)
12. Hernández-Columbié, Teresa, Guardado Lacaba Rafael. Control de erosión mediante bioingeniería en presas de colas de la industria del níquel. *Minería y Geología* [en línea]. 2014, 30(4), 55-69 <https://www.redalyc.org/pdf/2235/223533734004.pdf>
13. Ríos Y, & Trujillo C. (2018) Diseño de Bioingeniería para la Mitigación de Riesgo de Remoción en Masa en la Microcuenca de la Quebrada la Ambala. <https://repositorio.unibague.edu.co/bitstream/20.500.12313/591/1/Trabajo%20de%20grado.pdf>
14. ADUVIRE, Osvaldo. Gestión ambiental en minería: Certificaciones para iniciar y finalizar la actividad minera. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522023000100004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522023000100004&script=sci_arttext)
15. Martínez, JA, et al. (2019). *Remediación de suelos contaminados: fundamentos y casos de estudio* [Libro, Universidad EAN]. <http://hdl.handle.net/10882/10514>. <https://doi.org/10.21158/9789587566116>
16. Muro-González, D.A (2020). Caracterización de especies vegetales para fitorremediar suelos contaminados con metales pesados en jales mineros. Tesis doctoral. Doctorado en Ciencias Naturales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

[http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1275/MUGDN\\_L07T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/20.500.12055/1275/MUGDN_L07T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

17. Herrera, M. & Ortiz, D. (2022) Evaluación de impacto ambiental con implementación de reforestación con planta tipo guadua para la estabilización del suelo en el corregimiento 6 vereda santa helena de Villavicencio – Meta <https://repository.ucc.edu.co/items/8b684d24-b796-4617-9ea9-77de1bf9ca03>
18. Acevedo Miranda, D. M., Valencia Hurtado, S. H., y Londoño Cañas, Y. A. (2023). Evaluación de los lineamientos técnicos para la implementación de la bioingeniería de suelos en la intervención sobre retiros de quebradas en la ciudad de Medellín. *Cuaderno Activa*, 14(1). <https://doi.org/10.53995/20278101.881>  
<https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/881>
19. Hernández C, Rodríguez C, Oviedo R. Evaluación de la efectividad en la recuperación de aguas contaminadas por hidrocarburos, mediante la técnica de Fitorremediación utilizando Pasto Vetiver. (2019) <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1316/Articulo%20%20-%20Fitorremediaci%C3%B3n.pdf?sequence=1>
20. Diaz, R. Técnicas de bioingeniería y biotecnología en taludes del cerro de La Picota - Huamanga – Ayacucho (2018) <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2778>
21. Sánchez, J. Estabilización de taludes mediante la técnica de bioingeniería con cultivo de pastos vetiver en zonas tropicales. (2019) [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9325/5/IV\\_FIN\\_105\\_TE\\_Sanchez\\_Pillpa\\_2019.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/9325/5/IV_FIN_105_TE_Sanchez_Pillpa_2019.pdf)
22. Sana Ashraf, Qasim Ali, Zahir Ahmad Zahir, Sobia Ashraf, Hafiz Naeem Asghar, Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils, (2019) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651319302271>
23. He L. , Zhong H. , Liu G. , Dai Z. , Brookes PC , Xu J. Remediation of heavy metal contaminated soils by biochar: Mechanisms, potential risks and

applications in China (2019)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749119308437>

24. Sana Khalid, Muhammad Shahid, Nabeel Khan Niazi, Behzad Murtaza, Irshad Bibi, Camille Dumat, A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils (2017)  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375674216303818>

25. Clean Tecnology. 2021. Lixiviación en metalurgia y en la recuperación de metales. [En línea] 26 de octubre de 2021. [Citado el: 11 de agosto de 2024.]  
<https://emew.com/es/lixiviacion-en-metalurgia-y-en-la-recuperacion-de-metales/#:~:text=La%20lixiviaci%C3%B3n%20por%20definici%C3%B3n%20es,en%20la%20que%20es%20soluble..>

## ESPAÑOL:

26. Arias, Fidia. 2012. El Proyecto de Investigación. Caracas, Venezuela: Episteme, 2012. 980-07-8529-9.

27. Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), d. I. (2011). *Guías de Revisión Técnica de EIA: Minería No Metálica y Metálica*.  
<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100E0J6.PDF?Dockey=P100E0J6.PDF>

28. Cuentas, M., & Velarde, J. (2019). Uso de mercurio en la Rinconada - Puno. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 27-34.  
[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522019000100003](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000100003)

29. Gray, D. (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*. Nueva York: John Wiley.  
<https://www.wiley.com/en-us/Biotechnical+and+Soil+Bioengineering+Slope+Stabilization%3A+A+Practical+Guide+for+Erosion+Control-p-9780471049784>

30. Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: Mc Graw Hill Education. <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
31. Londoño, I. (2020). *Biorremediación como estrategia para la recuperación de suelos mineros contaminados con mercurio, cadmio plomo (Hg, Cd, Pb)*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/8619bd8b-7424-4568-bdad-b6aa58ea106b>
32. López, A. (2020). *Estado del conocimiento sobre el uso de la bioingeniería en procesos erosivos en Colombia*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/35742>
33. Nova, J. (2018). *Diseño de obra de bioingeniería para el manejo en procesos de remoción en masa y aguas superficiales en el cerro de Banderas Soacha*. [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1945&context=ing\\_civil](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1945&context=ing_civil)
34. Pizzorni, B. (2019). *MANUAL DE BUENAS PRÁCTICAS: Uso Responsable del Cianuro en la Pequeña Minería de Oro*. Fondo Editorial Better Gold Initiative Oro Responsable. <https://ororesponsable.org/wp-content/uploads/2020/03/Manual-Uso-Responsable-de-Cianuro-en-la-Peque%C3%B1a-Miner%C3%ADa.pdf>
35. Quiñón, A. (2021). *Análisis y sistematización de programas de cooperación innovadores entre los proyectos mineros de gran escala y la minería artesanal y de pequeña escala*. <https://minsus.net/Media-Publicaciones/analisis-y-sistematizacion-de-programas-de-cooperacion-innovadores-entre-los-proyectos-mineros-de-gran-escala-y-la-mineria-artesanal-y-de-pequena-escala/>
36. Ramírez, B., & Contreras, A. (2022). *Evaluación de los métodos de biorremediación más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco, 2020*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33668>
37. Ramírez, F. (2019). *Uso de bioingeniería en suelos que han sido afectados por procesos erosivos en canteras en los cerros orientales de la ciudad de*

Bogotá en el sector de Usaquén.  
[https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4128/Ramirez\\_Celis\\_Frank\\_Giovanni\\_2019.pdf?sequence=2](https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4128/Ramirez_Celis_Frank_Giovanni_2019.pdf?sequence=2)

38. Rodríguez, D. (2022). *Estudio de la Bioingeniería como alternativa para la estabilización de suelos.* <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/handle/10495/29249>
39. Schiechtl, H. (1980). *Bioingeniería para la tierra: Historia de su desarrollo y aplicaciones en muchos suelos europeos.*
40. Tarrillo, M., & Nuñez, E. (2022). *Análisis de los métodos más eficiente para la recuperación de suelos contaminados con relaves mineros producto de la actividad minera.* <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30726>
41. Villena, O. (2021). *Descomposición del cianuro en los relaves de lixiviación de oro mediante el uso metabisulfito de sodio y peróxido de hidrógeno en la Planta Laytaruma.* <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7089>
42. Yabar, D. (2022). *Eficacia de la bioingeniería en la estabilización de taludes de corte y relleno ante la erosión, en la carretera del centro poblado de Casablanca, Casma - Huaraz 2021.* <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3598;jsessionid=171CE35DF51604EF32E7C26A3159B8A6>
43. Sánchez, Jeannette. 2019. Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad. Santiago de Chile, Chile : Organización de las Naciones Unidas, 2019.
44. Universidad de Tecnología e Ingeniería. 2024. ¿En qué se diferencian la bioingeniería, la biomédica y la biotecnología? [En línea] 2024. <https://utec.edu.pe/blog-de-carreras/bioingenieria/en-que-se-diferencian-la-bioingenieria-la-biomedica-y-la-biotecnologia>.
45. Villena, Omar. 2021. *Descomposición del cianuro en los relaves de lixiviación de oro mediante el uso del Metabisulfito de sodio y peróxido de plata en la planta Laytaruma.* Huancayo, Perú : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2021.

46. *Composición Fisicoquímica y Propiedades Antioxidantes de Genotipos Nativos de Papa Criolla ( Solanum tuberosum Grupo Phureja)*. Cerón, María, y otros. 2018. 3, La Serena, Chile : Información Tecnológica, junio de 2018, Vol. 29. 0718-0764.
47. EPA. 2019. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). [En línea] 2019. [Citado el: 22 de diciembre de 2023.] <https://www.usa.gov/es/agencias/agencia-de-proteccion-ambiental-de-estados-unidos>.
48. *Formalización de la minería artesanal en la rinconada y su impacto en la economía regional, Puno - Perú*. Chávez, Roberto, y otros. 2022. Puni, Perú : Universidad Nacional del Altiplano, 2022.
49. García, Jaime. 2015. *El Girasol Oleaginoso*. Madrid, España : s.n., 2015.
50. Herrera, Juan. 2017. *Evaluación de la eficiencia en la destrucción del cianuro por el método prussian blue, utilizado en el proceso de extracción de oro en la cooperativa agrominera del municipio de Iquira*. Neiva, Colombia : Universidad nacional abierta y a distancia – Unad, 2017.
51. Instituto de Bioingeniería de Catalunya. 2024. Aplicaciones en Bioingeniería. [En línea] 2024. <https://ibecbarcelona.eu/es/sobre-nosotros/aplicaciones-en-bioingenieria/#:~:text=La%20bioingenier%C3%ADa%20implica%20abordar%2C%20comprender,ingenier%C3%ADa%20en%20todas%20sus%20facetas..>
52. MINEM. 2005. Uso y manejo del cianuro en la pequeña minería. [En línea] 2005. <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/GUIAS/GUIAS/UMCPM%202004.pdf>.

## ANEXOS

### Anexo 1. Instrumento de recolección de datos



### Evaluación por juicio de expertos

Respetado juez:

Usted ha sido seleccionado para evaluar el instrumento "Evaluación de técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros de Rinconada, Puno 2023".

La evaluación del instrumento es de gran relevancia para lograr que sea válido y que los resultados obtenidos a partir de éste sean utilizados eficientemente; aportando al quehacer investigativo en Ingeniería Ambiental. Agradecemos su valiosa colaboración.

#### 1. Datos generales del juez

Nombre del juez:	ESPINOZA FARFAN EDUARDO RONALD
Grado profesional:	Maestría ( ) Doctor ( X )
Área de formación académica:	Clínica ( ) Social ( ) Educativa ( ) Organizacional ( )
Áreas de experiencia profesional:	INGENIERA FORESTAL Y AMBIENTAL
Institución donde labora:	UCV CAMPUS LIMA ESTE
Tiempo de experiencia profesional en el área:	2 a 4 años ( ) Más de 5 años ( X )
Experiencia en Investigación	Ciencias Ambientales

#### 2. Propósito de la evaluación:

Validar el contenido del instrumento, por juicio de expertos.

#### 3. Datos de la escala

Nombre de la Prueba:	Evaluación de técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros de Rinconada
Autor (a):	Enriquez Parí, Ludium Liz Manuela Pacheco Laimé, Lucero
Procedencia:	Puno
Administración:	Aplicación de campo
Tiempo de aplicación:	Octubre – diciembre 2023
Ámbito de aplicación:	Centro Poblado La Rinconada
Significación:	Evaluar y seleccionar las técnicas de bioingeniería más adecuadas para mitigar la lixiviación de cianuro en los suelos de la Rinconada, teniendo en cuenta las características del entorno y la concentración de cianuro

**4. Soporte teórico**

Área/Escala (Variable)	Subescala (dimensiones)	Definición
Técnica De Bioingeniería	Aspecto medioambiental	De acuerdo a Schiechl (1980), la disciplina de la bioingeniería se orienta a aprovechar las diversas capacidades de los elementos vivos, como semillas, plantas y partes vegetales para lograr metas técnicas, ecológicas, estéticas y constructivas que minimizan el impacto en el entorno ambiental.
	Calidad medioambiental (suelo)	Las técnicas de bioingeniería son estrategias y métodos de ingeniería que utilizan organismos vivos o procesos biológicos con la finalidad de mitigar o reducir la movilidad de contaminantes, pueden ser también elementos estructurales que buscan proteger suelos de erosiones y de derrumbes superficiales en laderas (Gray, 1996).

**5. Presentación de instrucciones para el juez:**

A continuación, a usted le presento el instrumento "Evaluación de técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros de Rinconada, Puno 2023". De acuerdo con los siguientes indicadores le solicito que califique cada uno de los ítems según corresponda.

Criterio	Calificación	Indicador
<b>CLARIDAD</b> El ítem se comprende fácilmente, es decir, su sintáctica y semántica son adecuadas.	1. No cumple con el criterio	El ítem no es claro.
	2. Bajo Nivel	El ítem requiere bastantes modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas.
	3. Moderado nivel	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem.
	4. Alto nivel	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada.
<b>COHERENCIA</b> El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo.	1. No cumple con el criterio	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión.
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene una relación tangencial /lejana con la dimensión.
	3. Moderado nivel	El ítem tiene una relación moderada con la dimensión que se está midiendo.
	4. Alto nivel	El ítem se encuentra está relacionado con la dimensión que está midiendo.
<b>RELEVANCIA</b> El ítem es esencial o importante, es decir debe ser	1. No cumple con el criterio	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión.
	2. Bajo Nivel	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo lo que mide éste.

**FORMATO DE VALIDACIÓN**

Estimado Juez: leer con detenimiento los ítems y calificar en una escala de 1 a 4 su valoración, así como solicitamos brinde sus observaciones que considere pertinente.

**Variable/categoría:** *TECNICA DE BIOINGENIERIA.*

**Primera dimensión / subcategoría:** **TECNICAS**

*Objetivos de la dimensión: Aspecto medioambiental*

Indicadores	Ítem	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observaciones/ Recomendaciones
Reducción de la Concentración de Cianuro	Concentración de mercurio (ppb), elementos tóxicos.	3	3	3	-

**Variable/categoría:** *CANTIDAD DE CIANURO PRESENTE EN LOS SUELOS*

**Primera dimensión / subcategoría:** - **MUESTREOS**

*Objetivos de la dimensión: Calidad medioambiental (suelo)*

Indicadores	Ítem	Claridad	Coherencia	Relevancia	Observaciones/ Recomendaciones
Cambios en las Propiedades del Suelo	Textura del suelo (erosión del suelo, antes y después)	4	4	4	-
Costos de aplicación	Costo de mantenimiento	3	3	3	-

Observaciones (precisar si hay suficiencia):

Opinión de aplicabilidad:  Aplicable [ X ]

Apellidos y nombres del juez evaluador:

Especialidad del evaluador: Ingeniero

Aplicable después de corregir [ ]

No aplicable [ ]

7 de Octubre de 2023

Firma del evaluador  
DNI

## Anexos 2. Tabla de operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala de medición
Variable independiente Técnica de bioingeniería	De acuerdo a Schiechtl (1980), la disciplina de la bioingeniería se orienta a aprovechar las diversas capacidades de los elementos vivos, como semillas, plantas y partes vegetales para lograr metas técnicas, ecológicas, estéticas y constructivas que minimizan el impacto en el entorno ambiental. Las técnicas de bioingeniería son estrategias y métodos de ingeniería que utilizan organismos vivos o procesos biológicos con la finalidad de mitigar o reducir la	Las técnicas de bioingeniería utilizadas para mitigar contaminantes pueden incluir la fitoestabilización, biorremediación, bioacumulación y la inmovilización. Otras técnicas como la plantación de especies vegetales específicas, la construcción de barreras físicas, o la implementación de sistemas de retención de agua. Cada técnica será implementada siguiendo un protocolo y procedimiento predefinidos para asegurar la consistencia en la aplicación.	Aspecto medioambiental	Reducción de la Concentración de Cianuro	Concentración de mercurio (ppb)	Ordinal
			Calidad medioambiental (suelo)	Cambios en las Propiedades del Suelo	pH	Ordinal
					Contenido de materia orgánica	Ordinal
					Textura del suelo (erosión del suelo, antes y después)	Nominal
						Ordinal
			Aspecto económico	Costos de aplicación	Costo de mantenimiento	Ordinal

	<p>movilidad de contaminantes, pueden ser también elementos estructurales que buscan proteger suelos de erosiones y de derrumbes superficiales en laderas (Gray, 1996).</p>		<p>Niveles de cianuro</p>	<p>de</p>	<p>Análisis de los Límites Máximos Permisibles.</p>	<p>Límites máximos permisibles (ppb)</p>	
<p>Variable dependiente Cantidad de cianuro presente en los suelos</p>	<p>Representa la concentración de cianuro presente en los suelos mineros antes y después de aplicar las técnicas de bioingeniería, y refleja el impacto de estas técnicas en la mitigación de la lixiviación de cianuro.</p>	<p>Medición de la reducción de los niveles de cianuro en los suelos mineros antes y después de la implementación de las técnicas de bioingeniería. Estas muestras se analizan en laboratorio utilizando métodos químicos y analíticos como la Espectrofotometría UV-Visible para determinar la concentración exacta de cianuro presente en el suelo.</p>	<p>Niveles de elementos tóxicos.</p>	<p>de</p>	<p>Puntos de muestreos.</p>		
			<p>Calidad del suelo.</p>	<p>del</p>	<p>Estándares de calidad ambiental del suelo.</p>		
			<p>Parámetros de cianuración</p>	<p>de</p>	<p>Físicos y químicos.</p>		

Nota. Elaboración propia

### Anexo 3. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Método
<p align="center"><b>Problema general</b></p> <p>¿Cuáles son las técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno?</p>	<p align="center"><b>Objetivo general</b></p> <p>Evaluar técnicas de bioingeniería para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros en La Rinconada, Puno</p>	<p align="center"><b>Hipótesis general</b></p> <p>La evaluación de las técnicas de bioingeniería influye significativamente para mitigar la lixiviación de cianuro en suelos mineros en La Rinconada, Puno.</p>	<p><b>Tipo:</b> Aplicada</p> <p><b>Enfoque:</b> Cuantitativo</p> <p><b>Diseño:</b> Cuasi Experimental</p>
<p align="center"><b>Problemas específicos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>¿Cuál es el % de fitorremediación a través de plantas de girasoles para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno?</li> <li>¿Cuál es el % de cascara de papa para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno?</li> <li>¿Cuál es la técnica de bioingeniería indicada con mejor % de reducción al establecer la comparación para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno?</li> </ol>	<p align="center"><b>Objetivos específicos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Determinar el % de fitorremediación a través de plantas de girasoles para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.</li> <li>Determinar el % de cascara de papa para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.</li> <li>Comparar técnicas de bioingeniería y determinar indicada con mejor % de reducción al establecer la comparación para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.</li> </ol>	<p align="center"><b>Hipótesis específicas</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>El % de fitorremediación a través de plantas de girasoles influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.</li> <li>El % de cascara de papa influye positivamente en la mitigación de la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.</li> <li>Las técnicas de bioingeniería determinan cual es el mejor % de reducción al para mitigar la lixiviación de cianuro en la mina La Rinconada, Puno.</li> </ol>	<p><b>Nivel o alcance:</b> Descriptivo</p> <p><b>Muestra:</b> Número de muestras que serán analizadas.</p> <p><b>Técnica:</b> Bioingeniería</p> <p><b>Instrumento:</b> Medición analítica de cianuro, como el equipo de espectrofotometría UV-Visible, bajo el método HACH 8027,</p> <p>Método de Piridina-Pirazalona en matrices suelo, lodo y sedimentos.</p>

Nota. Elaboración propia

## Anexo 4. Ensayos de laboratorio



### LAQUAMEQ E.I.R.L. LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

#### INFORME DE RESULTADOS N°: LQ - 011023

#### I. DATOS DEL SERVICIO

**Proyecto** : EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA MITIGAR LA LIXIVIACIÓN DE CIANURO EN SUELOS MINEROS EN LA RINCONADA, PUNO 2023

**Solicitante** : Ludium Liz Manuela Enriquez Pari

#### II. DATOS DEL ENSAYO

**Producto** : Raíces de girasol

**Numero de muestras** : 07

**Fecha de ensayo** : 22 - 27/12/2023

**Muestreado por** : El cliente

**Ubicación, fecha y hora de muestreo:**

Código	Dist. /Prov./ Depart.	Ubicación	Fecha de muestreo
Punto 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 3 – 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 3 – 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 4 – 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 4 – 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 5	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023

#### III. MÉTODO DE ENSAYO

N°	PARAMETRO	UNIDAD	METODO
1	Metales pesados	mg/kg	SM 3500 – Absorción atómica



**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

**IV. DATOS DEL RESULTADO**

Parámetro	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3 – 1	Punto 3 – 2	Punto 4 – 1	Punto 4 – 2	Punto 5
Aluminio	mg/kg	3245.21	3657.34	3045.27	2985.14	2900.20	2845.34	2873.21
Antimonio	mg/kg	7.821	7.346	6.873	6.419	6.720	6.780	7.023
Arsénico	mg/kg	475.201	438.150	321.236	315.47	435.128	376.301	395.605
Bario	mg/kg	9.249	9.210	9.405	9.230	8.821	8.571	8.301
Berilio	mg/kg	0.023	0.017	0.015	0.025	0.028	0.011	0.017
Bismuto	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Boro	mg/kg	5.327	5.218	5.340	5.111	5.238	5.219	5.230
Cadmio	mg/kg	0.304	0.327	0.287	0.290	0.210	0.315	0.341
Calcio	mg/kg	378.205	325.902	330.408	316.093	342.403	371.048	334.306
Circonio	mg/kg	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
Cobalto	mg/kg	1.345	1.760	1.825	1.037	1.029	1.046	1.069
Cobre	mg/kg	12.378	12.874	13.269	12.602	11.302	11.405	14.491
Cromo	mg/kg	7.201	7.565	6.430	6.102	7.255	7.364	7.301
Escandio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Estaño	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Estroncio	mg/kg	1.209	1.315	1.058	1.049	1.037	1.031	1.072
Fosforo	mg/kg	287.450	290.367	300.518	315.267	290.458	286.302	325.106
Hierro	mg/kg	15.347	16.502	17.904	15.929	14.201	16.207	16.203
Lantano	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Litio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Magnesio	mg/kg	547.501	502.163	548.382	599.306	576.702	540.492	521.703
Manganeso	mg/kg	305.470	374.210	356.923	374.120	401.205	390.209	403.107



**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

---

Parámetro	Unidad	Punto 1	Punto 2	Punto 3 – 1	Punto 3 – 2	Punto 4 – 1	Punto 4 – 2	Punto 5
Mercurio	mg/kg	20.381	22.306	20.571	22.481	21.512	22.496	22.440
Molibdeno	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Niquel	mg/kg	8.503	8.572	9.054	9.239	8.601	8.210	8.256
Plata	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Plomo	mg/kg	30.245	31.552	30.281	30.572	31.280	32.371	32.406
Potasio	mg/kg	280.456	213.560	302.507	227.402	230.175	228.471	232.781
Selenio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Sodio	mg/kg	825.065	833.549	800.371	315.290	336.219	297.360	280.145
Talio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Thorio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Titanio	mg/kg	43.679	47.201	39.450	44.201	43.061	42.401	42.905
Uranio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Vanadio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Wolframio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Ytrio	mg/kg	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Zinc	mg/kg	55.307	54.619	55.312	55.729	53.102	51.203	51.532

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió

Juliaca, 31 de diciembre del 2023



**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

---

**INFORME DE RESULTADOS N°: LO - 09423**

**I. DATOS DEL SERVICIO**

---

**Proyecto** : EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA MITIGAR LA LIXIVIACIÓN DE CIANURO EN SUELOS MINEROS EN LA RINCONADA, PUNO 2023

**Solicitante** : Ludium Liz Manuela Enriquez Pari

**II. DATOS DEL ENSAYO**

---

**Producto** : Tallos de girasol

**Numero de muestras** : 07

**Fecha de ensayo** : 22 - 27/12/2023

**Muestreado por** : El cliente

**Ubicación, fecha y hora de muestreo:**

<b>Código</b>	<b>Dist. /Prov./ Depart.</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Fecha de muestreo</b>
Punto 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 3 – 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 3 – 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 4 – 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 4 – 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 5	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023



**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

---

**III. MÉTODO DE ENSAYO**

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	METODO
1	Cianuro libre	mg/kg	SM 4500 – CN E Método colorimétrico

**IV. DATOS DEL RESULTADO**

Código	Cianuro libre mg/kg
Punto 1	0.47
Punto 2	0.45
Punto 3 – 1	0.43
Punto 3 – 2	0.48
Punto 4 – 1	0.43
Punto 4 – 2	0.42
Punto 5	0.44

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió

Juliaca, 31 de diciembre del 2023



**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

---

**INFORME DE RESULTADOS N°: LO - 09523**

**I. DATOS DEL SERVICIO**

---

**Proyecto** : EVALUACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA PARA MITIGAR LA LIXIVIACIÓN DE CIANURO EN SUELOS MINEROS EN LA RINCONADA, PUNO 2023

**Solicitante** : Ludium Liz Manuela Enriquez Pari

**II. DATOS DEL ENSAYO**

---

**Producto** : Raíces de girasol

**Numero de muestras** : 07

**Fecha de ensayo** : 22 - 27/12/2023

**Muestreado por** : El cliente

**Ubicación, fecha y hora de muestreo:**

Código	Dist. /Prov./ Depart.	Ubicación	Fecha de muestreo
Punto 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 3 – 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 3 – 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 4 – 1	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 4 – 2	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023
Punto 5	Juliaca/San Román/Puno	E: 379396.4 N: 8287079.69	21/12/2023



**LAQUAMEQ E.I.R.L.**  
LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO AMBIENTAL

---

**III. MÉTODO DE ENSAYO**

Nº	PARAMETRO	UNIDAD	METODO
1	Cianuro libre	mg/kg	SM 4500 – CN E Método colorimétrico

**IV. DATOS DEL RESULTADO**

Código	Cianuro libre mg/kg
Punto 1	0.71
Punto 2	0.64
Punto 3 – 1	0.63
Punto 3 – 2	0.60
Punto 4 – 1	0.63
Punto 4 – 2	0.61
Punto 5	0.65

**V. OBSERVACIONES**

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió

Juliaca, 31 de diciembre del 2023

## Anexo 5. Certificación de Calidad



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



INFORME DE ENSAYO  
MA2404487 Rev. 0

ENRIQUEZ PARI LUDIVIA LIZ MANUELA

ENV / LB-353487-003

Fecha de Recepción SGS : 10-02-2024  
Fecha de Ejecución : Del 10-02-2024 al 22-02-2024  
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
PUNTO M-1
PUNTO M-2
PUNTO M-3
PUNTO M-4
PUNTO M-5

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 22/02/2024

Carmen R. Guerrero Cantorin  
C.Q.P.1188  
Coordinador de Calidad

"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"

Página 1 de 7

**INFORME DE ENSAYO  
MA2404487 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PUNTO M-1	PUNTO M-2	PUNTO M-3
PROFUNDIDAD (m)					6267079.69N / 379396.4E	6267079.69N / 379396.4E	6267079.69N / 379396.4E
FECHA DE MUESTREO					07/02/2024	07/02/2024	07/02/2024
HORA DE MUESTREO					09:00:00	09:20:00	10:00:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
<b>Análisis Generales</b>							
Mercurio (2)	ES_EPA7471	mg/kg	0.0100	0.0348	24.9603	57.1594	964.3926
Cianuro Libre (2)	ES_EPA8013_APHACNF	mg/kg	0.2	0.5	<0.5	<0.5	<0.5
<b>Metales Totales</b>							
Aluminio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.602	9,813.826	9,022.904	7,038.786
Antimonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	9.321	10.000	5.785
Arzénico Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.807	2.857	358.434	370.519	2,071.165
Bario Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	23.283	20.308	15.421
Berilio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	0.991	0.759	0.307
Bismuto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	0.664	0.572	1.282
Boro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.369	17.195	<17.195	<17.195	<17.195
Cadmio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.153	0.152	0.778
Calcio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	85.382	208.223	1,694.085	1,368.322	12,696.146
Circonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	0.247	0.285	0.689
Cobalto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	42.501	54.388	10.472
Cobre Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.138	32.885	51.013	21.196
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	18.555	18.618	18.257
Escandio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.069	0.317	2.043	2.147	1.247
Estaño Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	4.986	2.889	1.024
Estroncio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	13.985	11.938	26.562
Fosforo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	1,753.093	1,448.998	770.182
Hierro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	38,004.624	43,253.691	33,102.956
Lantano Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	19.026	15.486	3.519
Litio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	43.2	44.4	36.9
Magnesio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	1,828.674	1,301.901	4,299.995
Manganeso Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	1,263.870	1,487.029	255.319
Mercurio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.062	0.262	24.926	56.844	349.962
Molibdeno Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	1.222	1.851	0.506
Níquel Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.496	44.375	45.769	22.516
Plata Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.064	0.268	<0.268	<0.268	0.458
Plomo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.348	37.777	38.064	153.655
Potasio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	5,954.901	4,555.837	2,717.761

**INFORME DE ENSAYO  
MA2404487 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PUNTO M-1	PUNTO M-2	PUNTO M-3
PROFUNDIDAD (m)					8287079.86N / 379396.4E	8287079.86N / 379396.4E	8287079.86N / 379396.4E
FECHA DE MUESTREO					07/02/2024	07/02/2024	07/02/2024
HORA DE MUESTREO					09:00:00	09:20:00	10:00:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
<b>Metales Totales</b>							
Selenio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605	<3.605	<3.605
Sodio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	7.579	24.136	172.770	2,822.822	1,329.655
Talio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.029	0.093	0.127	0.148	0.099
Torio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.035	0.112	7.180	8.822	4.481
Titanio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.079	0.251	111.714	90.888	109.470
Urano Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.032	0.102	0.875	1.010	0.422
Vanadio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	1.488	4.737	24.418	25.485	10.648
Wolframio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.072	0.231	4.402	4.122	35.972
Ytrio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.030	0.096	5.829	3.824	3.758
Zinc Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.607	1.934	101.149	95.829	151.198

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PUNTO M-4	PUNTO M-5
PROFUNDIDAD (m)					8287079.86N / 379396.4E	8287079.86N / 379396.4E
FECHA DE MUESTREO					07/02/2024	07/02/2024
HORA DE MUESTREO					10:30:00	11:00:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
<b>Análisis Generales</b>						
Mercurio (2)	ES_EPA7471	mg/kg	0.0109	0.0348	328.7960	56.8069
Cianuro Libre (2)	ES_EPA0013_APHACNF	mg/kg	0.2	0.5	<0.5	<0.5
<b>Metales Totales</b>						
Aluminio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	2.701	8.602	6,068.915	5,861.636
Antimonio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.041	0.131	6.057	5.436
Arsenico Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.897	2.857	1,782.750	478.793
Bario Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.138	0.440	15.791	36.798
Berilio Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.054	0.173	0.264	0.537
Bismuto Total (2)	ES_EPA3051_8020	mg/kg	0.032	0.103	1.362	0.721

**INFORME DE ENSAYO  
MA2404487 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PUNTO M-4	PUNTO M-5
PROFUNDIDAD (m)					8287079.66N / 579398.4E	8287079.66N / 579398.4E
FECHA DE MUESTREO					07/02/2024	07/02/2024
HORA DE MUESTREO					10:30:00	11:00:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
<b>Metales Totales</b>						
Boro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.369	17.195	<17.195	<17.195
Cadmio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.851	0.302
Calcio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.382	208.223	12.523.527	3,258.600
Circonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	0.569	0.808
Cobalto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	9.461	5.857
Cobre Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.138	24.384	19.678
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	15.278	10.855
Escandio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.069	0.317	1.025	1.042
Estafio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	1.225	5.174
Estroncio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	28.190	19.720
Fosforo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	793.905	1,374.193
Hierro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	30,118.255	22,109.140
Lantano Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	3.295	14.330
Litio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	32.1	20.3
Magnesio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	3,804.390	1,658.388
Manganeso Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	214.581	184.540
Mercurio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.282	317.212	58.645
Molibdeno Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	0.518	0.622
Niquel Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	19.282	11.122
Plata Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.064	0.208	0.448	0.638
Plomo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.348	155.810	48.195
Potasio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.993	2,895.013	8,340.371
Selenio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	<3.605	<3.605
Sodio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.138	1,762.412	470.383
Talio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	<0.093	<0.093
torio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	4.035	5.221
Titanio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	114.720	65.728
Uranio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.400	0.620
Vanadio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.488	4.737	9.180	13.318
Wolframio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	35.841	9.890
Ytrio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	3.433	7.093
Zinc Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.607	1.934	119.825	110.770



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



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2404487 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
Mercurio	mg/kg	0.0348	<0.0348	0%	93%	97%	0%
Cianuro Libre	mg/kg	0.5	<0.5		98%	108%	2%
Aluminio Total	mg/kg	8.602	<8.602	1 - 6%	89%	94%	2%
Antimonio Total	mg/kg	0.131	<0.131	1 - 5%	107%	99%	0%
Arsénico Total	mg/kg	2.857	<2.857	1 - 8%	107%	105%	1%
Bario Total	mg/kg	0.440	<0.440	2 - 6%	94%	93%	0%
Berilio Total	mg/kg	0.173	<0.173	0 - 5%	110%	93%	0%
Bismuto Total	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 7%	98%	93%	2%
Boro Total	mg/kg	17.195	<17.195	0%	100%	101%	0%
Cadmio Total	mg/kg	0.144	<0.144	0 - 8%	96%	90%	2%
Calcio Total	mg/kg	208.223	<208.223	0 - 9%	109%	110%	0%
Circonio Total	mg/kg	0.147	<0.147	0 - 3%	94%	112%	0%
Cobalto Total	mg/kg	0.128	<0.128	0 - 9%	109%	108%	0%
Cobre Total	mg/kg	1.136	<1.136	1 - 7%	107%	108%	1%
Cromo Total	mg/kg	1.001	<1.001	2 - 6%	106%	110%	0%
Escandio Total	mg/kg	0.317	<0.317	7 - 11%	106%	94%	6%
Estafio Total	mg/kg	0.940	<0.940	0 - 2%	92%	102%	1%
Estroncio Total	mg/kg	0.822	<0.822	0 - 6%	101%	98%	0%
Fosforo Total	mg/kg	15.157	<15.157	0 - 5%	102%	111%	0%
Hierro Total	mg/kg	29.302	<29.302	1 - 4%	108%	97%	0%
Lantano Total	mg/kg	0.103	<0.103	0 - 6%	98%	100%	3%
Litio Total	mg/kg	3.0	<3.0	0 - 1%	105%	99%	1%
Magnesio Total	mg/kg	17.545	<17.545	0 - 7%	102%	107%	10%
Manganeso Total	mg/kg	0.643	<0.643	1 - 6%	93%	101%	1%
Mercurio Total	mg/kg	0.262	<0.262	0 - 9%	95%	90%	0%
Molibdeno Total	mg/kg	0.182	<0.182	0 - 5%	99%	98%	1%
Niquel Total	mg/kg	0.498	<0.498	0 - 9%	99%	107%	0%
Plata Total	mg/kg	0.268	<0.268	0 - 5%	103%	100%	1%
Plomo Total	mg/kg	0.346	<0.346	2 - 6%	98%	100%	0%
Potasio Total	mg/kg	42.993	<42.993	1 - 3%	108%	112%	1%
Selenio Total	mg/kg	3.605	<3.605	0 - 11%	100%	93%	0%
Sodio Total	mg/kg	24.136	<24.136	1 - 8%	94%	95%	1%
Talio Total	mg/kg	0.093	<0.093	0 - 6%	104%	97%	5%
Thorio Total	mg/kg	0.112	<0.112	0 - 2%	91%	105%	6%
Titanio Total	mg/kg	0.251	<0.251	0 - 3%	110%	88%	0%
Uranio Total	mg/kg	0.102	<0.102	8 - 10%	94%	97%	2%
Vanadio Total	mg/kg	4.737	<4.737	0 - 7%	105%	111%	0%
Wolframio Total	mg/kg	0.231	<0.231	0%	95%	93%	1%
Ytrio Total	mg/kg	0.098	<0.098	2 - 6%	101%	103%	4%
Zinc Total	mg/kg	1.934	<1.934	0 - 10%	108%	112%	0%



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



Registro N° LE - 002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2404487 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.
ES_EPA7471	Callao	Mercurio	EPA 7471B: Rev 2, 2007. Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)
ES_EPA9013_APHACNF	Callao	Cianuro Libre	EPA Method 9013A Rev.02, 2014, Cyanide extraction procedure for solids and oils //SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>-</sup> F, 23rd Ed, 2017 Cyanide. Cyanide-Selective Electrode Method. Validado 2017.



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



**INFORME DE ENSAYO  
MA2344111 Rev. 0**

**ENRIQUEZ PARI LUDIAM LIZ MANUELA**

ENV / LB-353314-007

PROCEDENCIA : RINCONADA -ANANEA - PUNO

Fecha de Recepción SGS : 22-12-2023  
Fecha de Ejecución : Del 22-12-2023 al 02-01-2024  
Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
PUNTO M-1
PUNTO M-2
PUNTO M-3
PUNTO M-4
PUNTO M-5

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 02/01/2024

**Frank M. Julcamoro Gulspe**  
C.G.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"

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 1 de 7

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 | Callao 1 | Callao | (511) 517 1900 | www.sgs.pe  
Ernesto Godínez 270 | Parque Industrial | Arequipa | (054) 213 505 | Pt.servicios@sgs.com  
Jr. Amado Márquez | Bs. San Antonio | Cajamarca 1 | (076) 386 092

Miembro del Grupo SGS



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



**INFORME DE ENSAYO  
MA2344111 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PUNTO 1	PUNTO M-2	PUNTO M-3
PROFUNDIDAD (m)							
FECHA DE MUESTREO					11/12/2023	11/12/2023	11/12/2023
HORA DE MUESTREO					11:29:00	11:39:00	12:10:00
MATRIZ					SUELOS	SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO					SUELOS	SUELOS	SUELOS
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado	Resultado
<b>Metales Comunes</b>							
Mercurio (2)	ES_EPA7471	mg/kg	0.0109	0.0348	57.0593	106.4649	419.7942
Cianuro Libre (2)	ES_EPA6013_APHACNF	mg/kg	0.2	0.5	+0.5	+0.5	+0.5
<b>Metales Pesados</b>							
Aluminio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	2.701	8.802	11,194.293	11,210.806	6,485.928
Antimonio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.041	0.131	12.770	19.501	9.546
Arsénico Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.897	2.857	573.118	404.202	1,831.352
Bario Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.138	0.440	62.134	23.262	13.036
Berilio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.054	0.173	1.009	0.871	0.254
Bismuto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	+0.103	+0.103	+0.103
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	0.588	0.276	0.942
Calcio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.362	208.223	480.968	735.648	10,854.488
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.046	0.147	0.900	1.490	0.550
Cobalto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	7.811	45.599	7.954
Cobres Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	23.205	57.078	17.908
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	16.057	22.272	13.368
Escandio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	1.371	1.723	0.753
Estroncio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	+0.940	+0.940	+0.940
Fluoruro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	15.352	7.178	22.119
Fosforo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	461.802	1,025.778	361.330
Hierro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	38,446.416	52,292.434	25,831.027
Lantano Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	29.876	16.914	2.589
Litio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	35.1	47.4	31.1
Magnesio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	1,732.735	1,257.409	3,859.973
Manganeso Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	318.120	1,613.140	301.162
Mercurio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	54.011	107.578	415.279
Molibdeno Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	0.484	1.075	0.511
Níquel Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.158	0.498	16.376	45.719	12.333
Plata Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.064	0.200	+0.200	+0.200	0.361
Plomo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	51.626	47.582	132.841
Potasio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.900	42.993	831.837	692.014	458.365

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 2 de 7



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



INFORME DE ENSAYO  
MA2344111 Rev. 0

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					PUNTO M-4	PUNTO M-5
PROFUNDIDAD (m)					11/12/0023	11/12/0023
FECHA DE MUESTREO					12:30:00	12:45:00
HORA DE MUESTREO					SUELOS	SUELOS
MATRIZ					SUELOS	SUELOS
PRODUCTO DESCRITO COMO						
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado	Resultado
<b>Elementos Traces</b>						
Boro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.399	17.195	+17.195	+17.195
Cadmio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.144	0.595	0.390
Calcio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	65.362	206.223	11,562.342	302.771
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.045	0.147	0.574	1.301
Cobalto Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.040	0.128	7.399	75.948
Cobre Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.357	1.136	16.052	35.219
Cromo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.314	1.001	12.652	15.504
Escandio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.099	0.317	1.000	1.522
Estaño Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.295	0.940	+0.940	+0.940
Estroncio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.258	0.822	22.795	6.399
Fósforo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	4.759	15.157	365.770	763.516
Hierro Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	9.201	29.302	24,308.298	44,663.061
Lantano Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.103	2.361	19.622
Litio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.0	3.0	30.1	66.5
Magnesio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	5.509	17.545	3,297.021	1,532.196
Manganeso Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.202	0.643	168.595	1,647.833
Mercurio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.082	0.262	399.701	37.315
Molibdeno Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.057	0.182	0.498	1.059
Níquel Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.156	0.498	12.606	45.500
Plata Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.064	0.200	0.345	+0.266
Plomo Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.109	0.346	130.070	41.077
Potasio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	13.500	42.963	952.456	663.208
Selenio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.132	3.605	+3.605	+3.605
Sodio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	7.579	24.136	1,964.055	71.959
Talio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.029	0.093	+0.093	0.191
Torio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.035	0.112	4.907	10.385
Titanio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.079	0.251	97.132	102.727
Uranio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.032	0.102	0.346	1.149
Vanadio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	1.438	4.737	7.891	24.346
Wolframio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.072	0.231	23.820	6.651
Ytrio Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.030	0.096	3.159	7.076
Zinc Total (2)	ES_EPA3051_6020	mg/kg	0.807	1.824	90.191	116.243

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 4 de 7

SGS del Perú S.A.C.

Av. César Faucett 3348 Calleo 1 Calleo 1 (011) 517 1900 www.sgs.pe  
Ernesto González 275 Parque Industrial Arequipa 1 (054) 213 505 • P.servicios@sgs.com  
Jr. Amalito Márquez Bs. San Antonio Cajamarca 1 (070) 366 092

Miembro del Grupo SGS



Norma NLE-002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2344111 Rev. 0**

**CONTROL DE CALIDAD**

LC: Límite de cuantificación  
MB: Blanco del proceso  
LOS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.  
MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicional.  
MDO %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicional.  
Dve %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LOS %Recovery	MS %Recovery	MDO %RPD
Mercurio	mg/kg	0.0340	<0.0340	0%	100%	100%	0%
Cloruro Libre	mg/kg	0.5	<0.5		90%	100%	5%
Aluminio Total	mg/kg	8.600	<8.600	6 - 12%	90%	90%	1%
Artenolol Total	mg/kg	0.151	<0.151	1 - 5%	90%	90%	0%
Amilofol Total	mg/kg	2.887	<2.887	3 - 6%	90%	90%	0%
Berfo Total	mg/kg	0.440	<0.440	3 - 6%	90%	90%	0%
Berlio Total	mg/kg	0.173	<0.173	5 - 10%	90%	90%	10%
Bismuto Total	mg/kg	0.100	<0.100	0 - 4%	90%	101%	1%
Boro Total	mg/kg	17.396	<17.396	1 - 2%	90%	100%	0%
Calcio Total	mg/kg	0.144	<0.144	0 - 6%	90%	90%	0%
Casio Total	mg/kg	208.223	<208.223	0 - 5%	90%	100%	0%
Circonio Total	mg/kg	0.147	<0.147	2 - 7%	100%	111%	0%
Cobalto Total	mg/kg	0.128	<0.128	2 - 7%	90%	90%	11%
Cobre Total	mg/kg	1.136	<1.136	0 - 6%	91%	100%	6%
Cromo Total	mg/kg	1.001	<1.001	4 - 11%	90%	90%	1%
Secandio Total	mg/kg	0.317	<0.317	1 - 5%	104%	112%	0%
Estafio Total	mg/kg	0.640	<0.640	5 - 9%	90%	90%	0%
Estroncio Total	mg/kg	0.020	<0.020	7 - 11%	90%	94%	1%
Fluoruro Total	mg/kg	15.151	<15.151	4 - 9%	90%	90%	0%
Hierro Total	mg/kg	29.300	<29.300	5 - 10%	90%	90%	0%
Lantano Total	mg/kg	0.100	<0.100	3 - 6%	90%	90%	1%
Litio Total	mg/kg	3.0	<3.0	7 - 10%	90%	94%	0%
Magnesio Total	mg/kg	17.545	<17.545	1 - 5%	90%	90%	1%
Manganeso Total	mg/kg	0.640	<0.640	3 - 9%	90%	90%	0%
Mercurio Total	mg/kg	0.265	<0.265	0 - 5%	100%	90%	5%
Molibdeno Total	mg/kg	0.180	<0.180	3 - 9%	91%	92%	0%
Niquel Total	mg/kg	0.496	<0.496	0 - 9%	100%	90%	0%
Piata Total	mg/kg	0.268	<0.268	0 - 1%	97%	100%	0%
Plomo Total	mg/kg	0.345	<0.345	0 - 6%	90%	100%	2%
Plata Total	mg/kg	42.993	<42.993	9 - 11%	90%	97%	0%
Selenio Total	mg/kg	3.605	<3.605	0%	100%	100%	0%
Sodio Total	mg/kg	24.136	<24.136	7 - 10%	90%	90%	0%
Taño Total	mg/kg	0.090	<0.090	3 - 9%	90%	100%	0%
Tiomo Total	mg/kg	0.112	<0.112	0 - 5%	100%	105%	2%
Tiandio Total	mg/kg	0.261	<0.261	0 - 6%	90%	90%	1%
Urano Total	mg/kg	0.100	<0.100	3 - 7%	90%	104%	3%
Vanadio Total	mg/kg	4.737	<4.737	0 - 7%	90%	90%	0%
Wilbernio Total	mg/kg	0.231	<0.231	8 - 11%	91%	91%	2%
Ytrio Total	mg/kg	0.096	<0.096	1 - 9%	90%	90%	10%
Zinc Total	mg/kg	1.854	<1.854	0 - 4%	90%	100%	0%

Este documento es válido solo en entorno electrónico, de imprimirse pierde validez.

Página 5 de 7



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

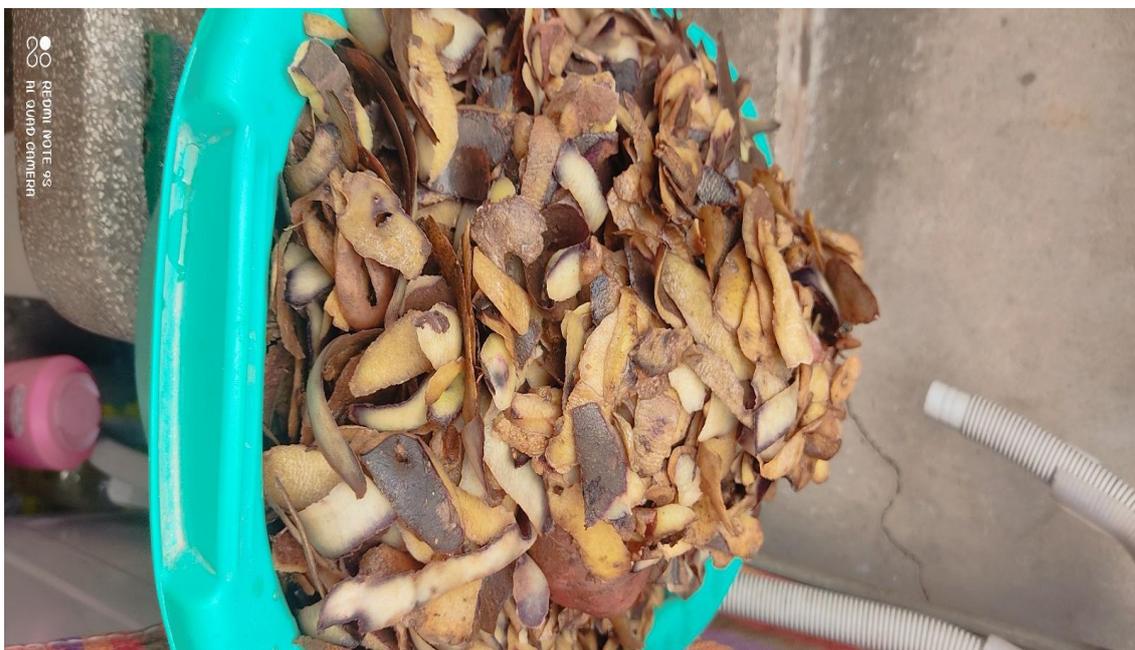


**INFORME DE ENSAYO  
MA2344111 Rev. 0**

**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.
ES_EPA7471	Callao	Mercurio	EPA 7471B: Rev 2, 2007. Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)
ES_EPA9013_APHACNF	Callao	Cianuro Libre	EPA Method 9013A Rev.02, 2014, Cyanide extraction procedure for solids and oils //SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-CN <sup>+</sup> F, 23rd Ed, 2017 Cyanide. Cyanide-Selective Electrode Method. Validado 2017.

## Anexo 6. Memoria fotográfica



Cascara de papa para muestra





Semillas de girasol para muestra



Suelos para muestra



Mezcla para muestra



## Anexo 7 Evidencias

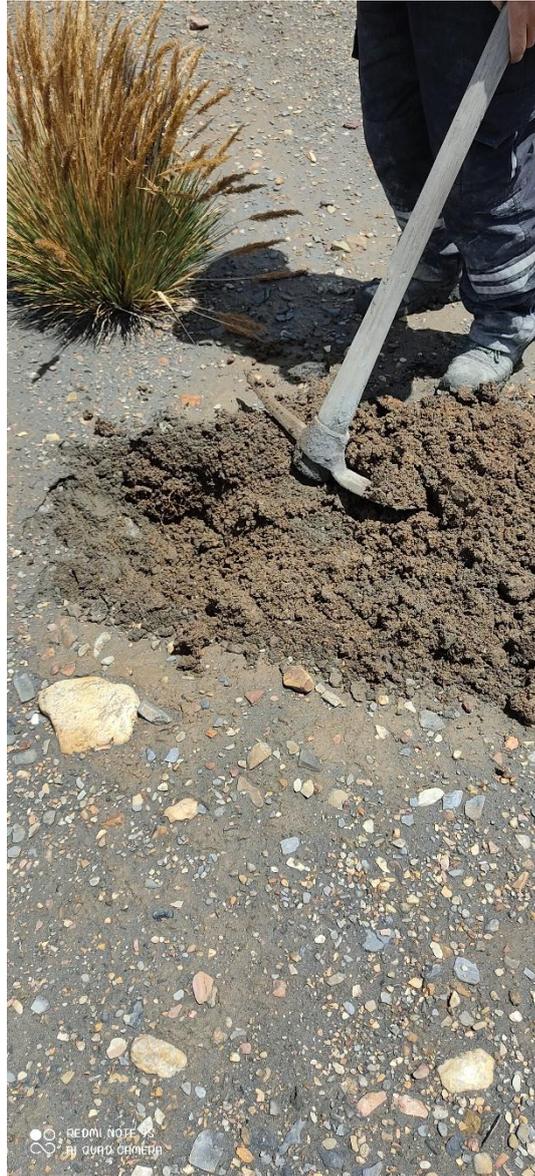
### SEMANA 1 RECOLECCION DE MUESTRA











**SEMANA 2 CUARTEANDO MUESTRA PARA MANDAR A LABORATORIO  
PARA SU ANALISIS**





**SEMANA 3 EMPEZANDO A TRASPLANTAR LAS PLANTAS A SUS RESPECTIVOS MASETEROS PARA LA FITORREMEDIACION CON GIRASOL**





# CONTROL DE LA FITORREMEDIACION

## SEMANA 4



# CONTROL DE LA FITORREMEDIACION

## SEMANA 5



**SEMANA 6 RECOLECCION DE MUESTRAS DE LA RAIZ Y TALLO**











