

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Biorremediación de Suelos Contaminados con cobre
empleando Medicago sativa en áreas mineras de
Challhuahuacho, Apurímac 2023**

Karol Franshesca Arias Quispe

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Jorge Luis Rodríguez Manrique
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 16 de Mayo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Biorremediación de suelos contaminados con cobre empleando Medicago Sativa en áreas mineras de Challhuahuacho, Apurímac 2023

Autores:

1. Karol Franshesca Arias Quispe – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | |
|---|--|--|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI ☒ | NO ☐ |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 15 | SI ☒ | NO ☐ |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI ☐ | NO ☒ |

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Formulación del problema	3
1.2.1 Problema general	3
1.3 Objetivos de la investigación	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación de la investigación.....	3
1.4.1 Conveniencia	3
1.4.2 Relevancia social	4
1.4.3 implicancia práctica	4
1.4.4 Valor teórico	4
1.5 Delimitación de la investigación	4
1.5.1 Delimitación temporal.....	4
1.5.2 Delimitación espacial.....	5
1.5.3 Delimitación física	5
1.5.4 Alcance de los resultados	5
1.6 Formulación de hipótesis y variables.....	6
1.6.1 Hipótesis general.....	6

1.6.2	Variables	6
1.6.3	Operacionalización de las variables.....	7
CAPÍTULO II.....		8
MARCO TEÓRICO.....		8
2.1	Antecedentes de la investigación.....	8
2.1.1	Antecedentes internacionales	8
2.1.2	Antecedentes nacionales	11
2.2	Bases teóricas	12
2.2.1	Biorremediación con Medicago sativa.....	12
2.2.2	Restauración de suelos	16
2.2.3	Contaminación de suelos en áreas mineras	19
2.2.4	Técnicas de biorremediación	20
2.2.5	Factores que afectan la eficiencia de la biorremediación.....	20
2.2.6	Optimización de condiciones operativas.....	21
2.2.7	Interacción entre compuestos orgánicos y microorganismos	21
2.2.8	Métodos de análisis de contaminantes orgánicos en suelos	22
2.2.9	Aspectos económicos de la biorremediación.....	23
2.2.10	Legislación y regulaciones ambientales.....	23
2.3	Definición de términos básicos	24
CAPÍTULO III		26
METODOLOGÍA.....		26
3.1	Método.....	26
3.2	Alcance de la investigación.....	26
3.3	Diseño de investigación	26
3.4	Población y muestra.....	27
3.4.1	Población.....	27
3.4.2	Muestra.....	27
3.5	Unidades de estudio.....	27
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28

3.6.1	Técnicas.....	28
3.6.2	Instrumentos	28
3.7	Procesamiento de datos.....	30
3.8	Procedimiento de la investigación.....	30
3.8.1	Toma de muestras de suelo contaminado:.....	30
3.8.2	Análisis de laboratorio de las muestras de suelo:	31
3.8.3	Preparación de las unidades experimentales:	31
3.8.4	Establecimiento de los tratamientos:.....	31
3.8.5	Cultivo y mantenimiento de Medicago sativa:	31
3.8.6	Medición de parámetros ambientales y del suelo:	32
3.8.7	Evaluación de la biorremediación:.....	32
3.8.8	Resultados esperados:	33
CAPÍTULO IV		35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		35
4.1	Presentación de resultados	35
4.1.1	Características del suelo	35
4.1.2	Crecimiento del tallo y raíz Medicago sativa en la biorremediación de suelos contaminados	36
4.1.3	Variación de los parámetros Si, Al y Na en la biorremediación de suelos contaminados con cobre	40
4.1.4	Influencia de tiempo de exposición en la biorremediación de suelos contaminados con cobre	42
4.2	Discusión de los resultados	45
CAPÍTULO V		49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		49
5.1	Conclusiones	49
5.2	Recomendaciones	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		51
ANEXOS.....		57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Operacionalización de las variables.....	7
Tabla 2.	Análisis de la caracterización del suelo.....	36
Tabla 3.	Crecimiento de Medicago sativa hasta el primer corte.	37
Tabla 4.	Crecimiento de Medicago sativa hasta el segundo corte.....	38
Tabla 5.	Crecimiento de Medicago sativa hasta el tercer corte.....	39
Tabla 6.	Longitud de la raíz del Medicago sativa.	40
Tabla 7.	Concentración de Si en tratamiento de suelo con Medicago sativa	41
Tabla 8.	Concentración de Al en tratamiento de suelo con Medicago sativa.	41
Tabla 9.	Concentración de Na en tratamiento de suelo con Medicago sativa.....	42
Tabla 10.	Concentración de Cu en tratamiento de suelo con Medicago sativa.	43
Tabla 11.	Porcentaje de remoción de Cu.	44
Tabla 12.	Análisis factorial para la remoción de Cu.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diseño de la investigación.....	26
Figura 2.	Disposición de tratamiento y control.	31
Figura 3.	Medición de la altura del Medicago sativa en la primera semana.	32
Figura 4.	Medición de la altura del Medicago sativa en segunda semana.	33
Figura 5.	Medición de la altura del Medicago sativa en cuarta semana	33
Figura 6.	Medición de la altura del Medicago sativa en sexta semana.....	33
Figura 7.	Crecimiento de Medicago sativa hasta el primer corte.	37
Figura 8.	Crecimiento de Medicago sativa hasta el segundo corte.....	38
Figura 9.	Crecimiento de Medicago sativa hasta el tercer corte.....	39
Figura 10.	Crecimiento de raíz de Medicago sativa en los 6 meses.	40
Figura 11.	Reducción de Cu con Medicago sativa en los 6 meses.	43

RESUMEN

La siguiente investigación tuvo como objetivos evaluar la biorremediación de suelos contaminados con cobre empleando *Medicago sativa* (alfalfa) en áreas mineras de Challhuahuacho, Apurímac. El diseño empleado en esta investigación es experimental de completamente aleatorizado. Como muestra, se trabajó con 60 kg de suelo del área minera, particularmente del suelo aledaño a terrenos de cultivo, en el distrito de Challhuahuacho, distribuidos en tres recipientes de 20 kg de suelo, uno de control y dos con el tratamiento (P2 y P3). Los resultados mostraron que la remoción promedio de cobre fue del 82.4% (± 0.075) al sexto mes, alcanzando un valor final de 99.8 (± 0.424) mg/kg, por debajo del límite permitido por la EPA (100 mg/kg). Además, se observó un incremento del pH de 5.8 a 7.4 en los puntos tratados, un cambio en la textura del suelo de franco-arenosa a arena franca, y un crecimiento progresivo de la planta, alcanzando 55.00 cm en el tallo y 30.1 cm en las raíces al sexto mes. La concentración de silicio (Si) disminuyó de 947.50 mg/kg a 278.8 (± 5.13) mg/kg, mientras que los niveles de aluminio (Al) y sodio (Na) aumentaron. Estos resultados concluyen que *Medicago sativa* es efectiva en la remoción de cobre y en la mejora de las propiedades fisicoquímicas del suelo, lo que la convierte en una opción prometedora para la restauración de suelos contaminados en áreas mineras.

Palabras clave: biorremediación, contaminación, alfalfa, *Medicago sativa*.

ABSTRACT

The following investigation aimed to evaluate the bioremediation of copper-contaminated soils using *Medicago sativa* (alfalfa) in mining areas of Challhuahuacho, Apurímac. The design used in this research is a completely randomized experimental. As a sample, 60 kg of soil from the mining area, particularly from the soil adjacent to farmland, in the district of Challhuahuacho, were distributed in three 20 kg containers of soil, one control and two with the treatment (P2 and P3). The results showed that the average copper removal was 82.4% (± 0.075) at the sixth month, reaching a final value of 99.8 (± 0.424) mg/kg, below the limit allowed by the EPA (100 mg/kg). Furthermore, an increase in pH from 5.8 to 7.4 was observed at the treated sites, along with a change in soil texture from sandy loam to loamy sand, and progressive plant growth, reaching 55.00 cm in the stem and 30.1 cm in the roots by month 6. Silicon (Si) concentration decreased from 947.50 mg/kg to 278.8 (± 5.13) mg/kg, while aluminum (Al) and sodium (Na) levels increased. These results conclude that *Medicago sativa* is effective in removing copper and improving soil physicochemical properties, making it a promising option for restoring contaminated soils in mining areas.

Keywords: bioremediation, contamination, alfalfa, *Medicago sativa*.