

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Remoción de metales pesados en los suelos  
contaminados usando el método electrocinético  
en el distrito de Matahuasi, Junín - 2022**

Rosvel Dagne Aliaga Bravo  
Edith Esthefany Condor Pituy  
Priscila Eunice Ore Signori

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

# REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN LOS SUELOS CONTAMINADOS USANDO EL MÉTODO ELECTROCINÉTICO EN EL DISTRITO DE MATAHUASI, JUNÍN - 2022

## ORIGINALITY REPORT

**20%**  
SIMILARITY INDEX

**18%**  
INTERNET SOURCES

**2%**  
PUBLICATIONS

**11%**  
STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

**1** Submitted to Universidad Continental  
Student Paper 6%

**2** hdl.handle.net  
Internet Source 2%

**3** repositorio.ucv.edu.pe  
Internet Source 2%

**4** repositorio.unh.edu.pe  
Internet Source 1%

**5** Submitted to Universidad Cesar Vallejo  
Student Paper 1%

**6** www.researchgate.net  
Internet Source <1%

**7** repositorio.lamolina.edu.pe  
Internet Source <1%

**8** repositorio.uigv.edu.pe  
Internet Source <1%

repositorio.continental.edu.pe

9	Internet Source	<1 %
10	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet Source	<1 %
11	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
12	<a href="http://repositorio.unprg.edu.pe">repositorio.unprg.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
13	<a href="http://todosloshechos.es">todosloshechos.es</a> Internet Source	<1 %
14	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Internet Source	<1 %
15	<a href="http://repository.ean.edu.co">repository.ean.edu.co</a> Internet Source	<1 %
16	<a href="http://dspace.esPOCH.edu.ec">dspace.esPOCH.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://repositorio.uns.edu.pe">repositorio.uns.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
18	<a href="http://repositorio.upec.edu.ec">repositorio.upec.edu.ec</a> Internet Source	<1 %
19	<a href="http://es.scribd.com">es.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
20	<a href="http://ciencia.lasalle.edu.co">ciencia.lasalle.edu.co</a> Internet Source	<1 %

21	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Internet Source	<1 %
22	<a href="http://repositorioinstitucional.uabc.mx">repositorioinstitucional.uabc.mx</a> Internet Source	<1 %
23	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
24	<a href="http://repositorio.upao.edu.pe">repositorio.upao.edu.pe</a> Internet Source	<1 %
25	<a href="http://studylib.es">studylib.es</a> Internet Source	<1 %
26	<a href="http://stutzartists.org">stutzartists.org</a> Internet Source	<1 %
27	Submitted to unsaac Student Paper	<1 %
28	<a href="http://www.imt.mx">www.imt.mx</a> Internet Source	<1 %
29	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Ecuador - PUCE Student Paper	<1 %
30	<a href="http://bmcsportsscimedrehabil.biomedcentral.com">bmcsportsscimedrehabil.biomedcentral.com</a> Internet Source	<1 %
31	<a href="http://minerva.usc.es">minerva.usc.es</a> Internet Source	<1 %
32	<a href="http://repositorio.utn.edu.ec">repositorio.utn.edu.ec</a>	

Internet Source

<1 %

33

Submitted to Abraham Baldwin Agriculture  
College

Student Paper

<1 %

34

Submitted to Colegio Max Uhle

Student Paper

<1 %

35

repositorio.ujcm.edu.pe

Internet Source

<1 %

36

search.bvsalud.org

Internet Source

<1 %

37

www.slideshare.net

Internet Source

<1 %

38

dspace.ups.edu.ec

Internet Source

<1 %

39

www.minem.gob.pe

Internet Source

<1 %

40

Submitted to Universidad Santo Tomas

Student Paper

<1 %

41

about.mouchette.org

Internet Source

<1 %

42

moam.info

Internet Source

<1 %

43

repositorio.unjbg.edu.pe

Internet Source

<1 %

44

ASHRAF Z. AL-HAMDAN, KRISHNA R. REDDY.  
"Geochemical Reconnaissance of Heavy  
Metals in Kaolin after Electrokinetic  
Remediation", Journal of Environmental  
Science and Health, Part A, 2006

Publication

<1 %

45

[redi.unjbg.edu.pe](http://redi.unjbg.edu.pe)

Internet Source

<1 %

46

[www.num.edu.mn](http://www.num.edu.mn)

Internet Source

<1 %

47

[www.scielo.org.mx](http://www.scielo.org.mx)

Internet Source

<1 %

48

[bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co)

Internet Source

<1 %

49

[repositorio.ucundinamarca.edu.co](http://repositorio.ucundinamarca.edu.co)

Internet Source

<1 %

50

[pt.scribd.com](http://pt.scribd.com)

Internet Source

<1 %

51

[repositorio.usmp.edu.pe](http://repositorio.usmp.edu.pe)

Internet Source

<1 %

52

Hossein Beyrami. "Effect of different  
treatments on electrokinetic remediation of  
Zn, Pb and Cd from a contaminated

<1 %

# calcareous soil", Chinese Journal of Chemical Engineering, 2020

Publication

53

Silvana Flores, Pablo Nuñez, Edison Zegarra, Janet Flores. "Metodología de tratamiento de remediación de pasivos ambientales mineros de Cerro El Toro de Huamachuco para el desarrollo sostenible", Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2019

Publication

<1 %

54

[cia.uagraria.edu.ec](http://cia.uagraria.edu.ec)

Internet Source

<1 %

55

[colposdigital.colpos.mx:8080](http://colposdigital.colpos.mx:8080)

Internet Source

<1 %

56

[es.slideshare.net](http://es.slideshare.net)

Internet Source

<1 %

57

[esdocs.com](http://esdocs.com)

Internet Source

<1 %

58

[repositorio.unab.cl](http://repositorio.unab.cl)

Internet Source

<1 %

59

[repositorio.unac.edu.pe](http://repositorio.unac.edu.pe)

Internet Source

<1 %

60

[repositorio.undac.edu.pe](http://repositorio.undac.edu.pe)

Internet Source

<1 %

[revistas.unap.edu.pe](http://revistas.unap.edu.pe)

61

Internet Source

&lt;1 %

62

[ri.uaemex.mx](http://ri.uaemex.mx)

Internet Source

&lt;1 %

63

Esteban Manuel Villena Martínez.

"Elaboración de un modelo matemático que permita el análisis de la eficacia de la ósmosis Inversa en el proceso de eliminación de plomo, hierro y manganeso en fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano en la alta cuenca alta del río Guadalquivir en Bolivia y su aporte al crecimiento de la oferta de agua y la disponibilidad sostenible de agua potable a largo plazo", Universitat Politecnica de Valencia, 2022

Publication

&lt;1 %

64

[coloradolatinonews.com](http://coloradolatinonews.com)

Internet Source

&lt;1 %

65

[distancia.udh.edu.pe](http://distancia.udh.edu.pe)

Internet Source

&lt;1 %

66

[dspace.unitru.edu.pe](http://dspace.unitru.edu.pe)

Internet Source

&lt;1 %

67

[es.zkdiecasting.com](http://es.zkdiecasting.com)

Internet Source

&lt;1 %

68

[mailxmail.com](http://mailxmail.com)



Internet Source

<1 %

69

[pesquisa.bvsalud.org](http://pesquisa.bvsalud.org)

Internet Source

<1 %

70

[repositorio.ug.edu.ec](http://repositorio.ug.edu.ec)

Internet Source

<1 %

71

[repositorio.unasam.edu.pe](http://repositorio.unasam.edu.pe)

Internet Source

<1 %

72

[repositorio.unicauca.edu.co:8080](http://repositorio.unicauca.edu.co:8080)

Internet Source

<1 %

73

[repositorio.upn.edu.pe](http://repositorio.upn.edu.pe)

Internet Source

<1 %

74

[repository.uamerica.edu.co](http://repository.uamerica.edu.co)

Internet Source

<1 %

75

[ri.ues.edu.sv](http://ri.ues.edu.sv)

Internet Source

<1 %

76

[visorsig.oefa.gob.pe](http://visorsig.oefa.gob.pe)

Internet Source

<1 %

77

[www.science.gov](http://www.science.gov)

Internet Source

<1 %

78

Jorge Eduardo Chira Fernández. "Dispersión geoquímica de metales pesados y su impacto en los suelos de la cuenca del río Mantaro, departamento de Junín-Perú", Revista del

<1 %

# Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas, 2021

Publication

79

[doczz.es](http://doczz.es)

Internet Source

<1 %

80

[doczz.net](http://doczz.net)

Internet Source

<1 %

81

[www.scielo.org.pe](http://www.scielo.org.pe)

Internet Source

<1 %

82

"Electrokinetic Remediation for Environmental Security and Sustainability", Wiley, 2021

Publication

<1 %

83

Julita A. Dunalska, Zygmunt M. Gusiatin, Rafał Zieliński, Daniel Szymański, Justyna Sieńska.

"Comparison of selected methods used in the assessment of contamination with heavy metals in littoral sediments of lakes", Oceanological and Hydrobiological Studies, 2016

Publication

<1 %

Exclude quotes  On

Exclude matches  < 5 words

Exclude bibliography  On

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	12
1.1    Planteamiento y formulación del problema .....	12
1.1.1    Problema general .....	13
1.1.2    Problemas específicos.....	13
1.2    Objetivos .....	14
1.2.1    Objetivo general .....	14
1.2.2    Objetivos específicos .....	14
1.3    Justificación e importancia.....	14
1.4    Hipótesis.....	15
1.5    Operacionalización de variables.....	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	17
2.1    Antecedentes de la investigación .....	17
2.1.1    Antecedentes internacionales .....	17
2.1.2    Antecedentes nacionales.....	22
2.1.3    Antecedentes regionales y locales .....	24
2.2    Bases teóricas .....	24
2.2.1    Contaminación de suelos con metales pesados .....	24
2.2.2.    Contaminación del suelo por Pb.....	26
2.2.3.    Contaminación por plomo en la salud .....	27
2.2.4.    Contaminación del suelo por Cd .....	28
2.2.5.    Remediación electrocinética.....	29

2.2.6.	Corriente eléctrica y voltaje en el método electrocinética.....	34
2.2.7.	Tiempo de tratamiento en el método electrocinética.....	35
2.3	Definición de términos básicos .....	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		38
3.1	Método y alcances de la investigación.....	38
3.1.1	Enfoque de la investigación.....	38
3.1.2	Método general .....	38
3.1.3	Método específico.....	38
3.1.4	Tipo de investigación .....	38
3.1.5	Nivel de investigación .....	38
3.2	Diseño de la investigación.....	39
3.3	Población y muestra .....	40
3.3.1	Población .....	40
3.3.2	Muestra .....	40
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	43
3.4.1	Técnicas e instrumentos.....	43
3.4.2	Materiales .....	44
3.4.3	Procedimientos .....	44
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		48
4.1	Presentación de resultados .....	48
4.1.1	Concentración de plomo y cadmio en los suelos de Matahuasi .....	48
4.1.2	Gradiente de voltaje para la remoción de plomo y cadmio con el método ... electrocinético .....	49
4.1.3	Dosificación óptima del electrolito para la remoción de plomo y cadmio ... con el método electrocinético.....	51
4.1.4	Eficiencia del método electrocinético en la remoción de plomo y ... cadmio .....	53
4.2.	Prueba de hipótesis.....	59

4.3. Discusión de resultados .....	63
CONCLUSIONES .....	67
RECOMENDACIONES .....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69
ANEXOS .....	78

## Índice de Tablas

Tabla 1 Puntos de muestreo.....	41
Tabla 2 Caracterización del suelo de Matahuasi .....	49
Tabla 3 Análisis de textura de los suelos de Matahuasi .....	49
Tabla 4 Remoción de Cd y Pb con 1.33 V .....	50
Tabla 5 Remoción de Cd y Pb con 2.66 V .....	50
Tabla 6 Remoción de Cd y Pb con 33 % .....	52
Tabla 7 Remoción de Cd y Pb con 42.86 % .....	52
Tabla 8 Remoción de Cd .....	54
Tabla 9 Remoción de Pb.....	56
Tabla 10 Resultados de Pb y Cd en las muestras finales.....	59
Tabla 11 Análisis de varianza para el Cd .....	59
Tabla 12. Prueba de Tukey para el factor voltaje en la remoción de Cd.....	60
Tabla 13. Prueba de Tukey para el factor dosis en la remoción de Cd .....	60
Tabla 14 Análisis de varianza para el Pb.....	61
Tabla 15. Prueba de Tukey para el factor voltaje en la remoción de Pb .....	62
Tabla 16. Prueba de Tukey para el factor dosis en la remoción de Pb .....	62

## Índice de figuras

Figura 1: Esquema básico del proceso de electroremediación tomado de [46]. .....	30
Figura 2: Electroósmosis, Tomado de [46]. .....	31
<i>Figura 3:</i> Esquema básico para la toma de muestra de suelo. ....	41
<i>Figura 4:</i> Esquema de configuración del método electrocinético.....	46
Figura 5 ECA-suelo.....	48
Figura 6 remoción de Cd y Pb con 1.33 V .....	50
Figura 7 remoción de Cd y Pb con 2.66 V .....	51
Figura 8 remoción de Cd y Pb con 33 % .....	52
Figura 9 remoción de Cd y Pb con 42.86 % .....	53
Figura 10 Efecto principal en la remoción de Cd.....	54
Figura 11 Interacción para la remoción de Cd .....	55
Figura 12 Media para la remoción de Cd .....	55
Figura 13 Efecto principal en la remoción de Pb .....	56
Figura 14 Interacción para la remoción de Pb.....	57
Figura 15 Media para la remoción de Pb.....	57
Figura 16 Remoción de Cd y Pb.....	58
Figura 17 Cd y Pb vs ECA-Suelo.....	58
Figura 18 Probabilidad para Cd.....	61
Figura 19 Probabilidad para Pb .....	63

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar la eficiencia del método electrocinético en la remoción de plomo y cadmio de los suelos contaminados en el distrito de Matahuasi, Concepción, Junín – 2022. Se utilizó un enfoque cuantitativo, con un método específico de observación, tipo aplicativo, nivel explicativo y diseño factorial de 2<sup>2</sup>. Con el fin de remover el plomo y cadmio de los suelos contaminados en el distrito de Matahuasi, se llevó a cabo una caracterización inicial, se presentó un 77.35 mg/kg de plomo y 7.42 mg/kg de cadmio, siendo concentraciones que superan los ECA-Suelo de uso agrícola, luego se trabajó con variaciones de gradiente de voltaje 1.33 V a 2.66 V y variaciones de dosis de electrolito de 33 % a 42.86 %; logrando así, determinar el gradiente de voltaje óptimo de 2.66 V y la dosificación óptima del electrolito fue a 42.86 %, con dichos valores óptimos se tuvo la mayor remoción de un 85.5 % para el Cd y de manera similar para el Pb con un porcentaje de remoción de 68.2 %. Logrando así, una concentración final de 1.07 mg/kg y 24.6 mg/kg de Cd y Pb, por ende, se afirma que el método electrocinético es favorable en la remoción de metales, cumpliendo con el ECA-Suelo para uso de suelos agrícolas.

Palabras claves: *método electrocinético, plomo, cadmio, voltaje, dosis de electrolito.*



## ABSTRACT

The objective of this study is to determine the efficiency of the electrokinetic method in the removal of Lead and Cadmium from contaminated soils in the district of Matahuasi, Concepción, Junín - 2022. A quantitative approach was used, with a specific method of observation, type application, explanatory level and factorial design of 22. For the removal of Lead and Cadmium from contaminated soils in the district of Matahuasi, an initial characterization was carried out, presenting 77.35 mg/kg of lead and 7.42 mg/kg of cadmium, being concentrations that exceed the ECA-Soil for agricultural use, then we worked with voltage gradient variations from 1.33 V to 2.66 V and electrolyte dose variations from 33% to 42.86%, thus achieving the optimal voltage gradient was 2.66 V and the optimal dosage of the electrolyte was 42.86%, with these optimal values there was the highest removal of 85.5% for Cd and similarly for Pb with a removal percentage of 68.2%. Thus, achieving a final concentration of 1.07 mg/kg and 24.6 mg/kg of Cd and Pb, therefore, it is stated that the electrokinetic method is favorable in the removal of metals, complying with the ECA-Soil for the use of agricultural soils.

Keywords: *electrokinetic method, lead, cadmium, voltage, electrolyte dose.*