



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



“Remoción de plomo en un suelo contaminado con PbS mediante electroremediación auxiliada de tratamientos híbridos”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

MAESTRO EN SISTEMAS AMBIENTALES

Presenta:

Ing. Manuel Calzada Huereca

Director de tesis:

Dr. Víctor Jesús Martínez Gómez

Durango, Dgo. México

Octubre 2023



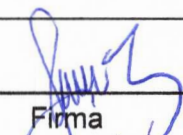
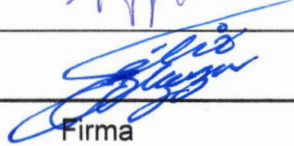


**“Remoción de plomo en un suelo contaminado con PbS mediante
electroremediación auxiliada de tratamientos híbridos”**

Presenta

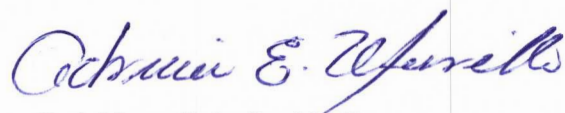
Ing. Manuel Calzada Huereca

COMITÉ TUTORIAL

<u>Dr. Víctor Jesús Martínez Gómez</u> Director de tesis	 Firma
<u>Dr. Jaime Cristóbal Rojas Montes</u> Asesor	 Firma
<u>M.C. Rafael Lucho Chigo</u> Asesor	 Firma
<u>Dr. Félix Alonso Alcázar Medina</u> Asesor	 Firma



C. Rafael Lucho Chigo
Coordinador de la Maestría en
Sistemas Ambientales



C. Adriana Eréndira Murillo
Jefa de la División de Estudios de
Posgrado e Investigación



Victoria de Durango, Dgo., a **04 / Septiembre / 2023.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 358 / 23.

ASUNTO: Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

C. . MANUEL CALZADA HUERECA
No. DE CONTROL G12040084
P R E S E N T E .

De acuerdo al reglamento en vigor y tomando en cuenta el dictamen emitido por el jurado que le fue asignado para la revisión de su trabajo de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Sistemas Ambientales**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

"Remoción de plomo en un suelo contaminado con PbS mediante electroremediación auxiliada de tratamientos híbridos"

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

A T E N T A M E N T E .

Excelencia en Educación Tecnológica®
"La Técnica al Servicio de la Patria"

C. ADRIANA ERÉNDIRA MURILLO
SUBDIRECTORA ACADÉMICA

AEM'ammc.





Victoria de Durango, Dgo., a **04 / Septiembre / 2023**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 357 / 23.

ASUNTO: Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

C. . MANUEL CALZADA HUERECA
No. DE CONTROL G12040084
P R E S E N T E .

Con base en el Reglamento en vigor y teniendo en cuenta el dictamen emitido por el Jurado que le fue asignado, se le autoriza a desarrollar el tema de tesis para obtener el **Grado de Maestro en Sistemas Ambientales** cuyo título es:

"Remoción de plomo en un suelo contaminado con PbS mediante electroremediación auxiliada de tratamientos híbridos"

CONTENIDO:

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN, ANTECEDENTES, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

Sin otro asunto en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE .

Excelencia en Educación Tecnológica®
"La Técnica al Servicio de la Patria"

C. ADRIANA ERÉNDIRA MURILLO
SUBDIRECTORA ACADÉMICA

AEM'ammc.



Fecha de Inicio: 2018-12-31
Fecha de Cierre: 2018-12-31
Fecha de Terminación: 2018-12-31
ASOC 957

Av. Felipe Pescador #1830 Ote. Col. Nueva Vizcaya C.P. 34060 Durango, Durango.
Tel. (018) 2290830 e-mail: dir_itdurango@tecnm.mx tecnm.mx | itdurango.edu.mx



2023
Año de
Francisco
VILLA

Victoria de Durango, Dgo. A 28 de agosto de 2023

Por este conducto se hace constar que la tesis Remoción de plomo en un suelo contaminado con PbS mediante electroremediación auxiliada de tratamientos híbridos, del alumno Manuel Calzada Huereca, con número de control 12040084, estudiante del programa de Maestría en Sistemas Ambientales, revisada por primera vez, se sometió al software Turnitin Similarity para ser examinado, en donde el reporte del software mencionado mostró un porcentaje de 8% de similitud general.

Con base en el reporte de Turnitin, al criterio ético y profesional del director de tesis y al área del programa, se considera que cumple con los criterios de originalidad.

Con base en lo anterior se emite el siguiente dictamen.

Sé autoriza dar inicio a los trámites de obtención de grado.

Nota: Después de la segunda revisión si el documento no cumple con los criterios de originalidad el dictamen será

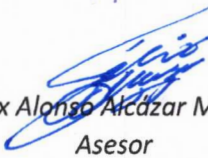
No se autoriza dar inicio a los trámites de obtención de grado, documento plagiado

Atentamente,


Víctor Jesús Martínez Gómez
Director de la Tesis
Vo.Bo.


Jaime Cristóbal Rojas Montes
Asesor


Rafael Lucho Chigo
Asesor


Félix Alonso Alcázar Medina
Asesor

Cp
Alumno
Coordinación del programa

“Remoción de plomo en un suelo contaminado con PbS mediante electroremediación auxiliada de tratamientos híbridos”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

MAESTRO EN SISTEMAS AMBIENTALES

Presenta:

Ing. Manuel Calzada Huereca

Director de tesis:

Dr. Víctor Jesús Martínez Gómez

8% Similitud General

Fuentes

Mostrar las fuentes solapadas



Filtros

1 Internet

kipdf.com

158 palabras que coinciden

1%

2 Internet

core.ac.uk

65 palabras que coinciden

<1%

3 Internet

www.slideshare.net

51 palabras que coinciden

<1%

4 Internet

www.researchgate.net

50 palabras que coinciden

<1%

5 Internet

cideteq.repositorioinstitucional.mx

35 palabras que coinciden

<1%

6 Internet

0

LICENCIA DE USO OTORGADA POR MANUEL CALZADA HUERECA, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en Calle Lázaro Cárdenas # 231, Fraccionamiento La Fátima Durango, Dgo., en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor de la tesis denominada **"REMOCIÓN DE PLOMO EN UN SUELO CONTAMINADO CON PbS MEDIANTE ELECTROREMEDIACIÓN AUXILIADA DE TRATAMIENTOS HÍBRIDOS"** en adelante **"LA OBRA"** quien para todos los fines del presente documento se denominará **"EL AUTOR Y/O EL TITULAR"**, a favor del Instituto Tecnológico de Durango del Tecnológico Nacional de México, y con fundamento en lo dispuesto en los artículos 5, 18, 24, 25, 27, 30, 32 y 148 de la Ley Federal de Derechos de Autor, se establecen las cláusulas siguientes:

PRIMERA –OBJETO: **"EL AUTOR Y/O TITULAR"**, mediante el presente documento otorga al Instituto Tecnológico de Durango del Tecnológico Nacional de México, licencia de uso gratuita e indefinida respecto de **"LA OBRA"**, para almacenar, preservar, publicar, reproducir y/o divulgar la misma, con fines académicos, por cualquier medio en forma física y a través del repositorio institucional y del repositorio nacional, éste último consultable en la página: (<https://www.repositorionacionalcti.mx/>).

SEGUNDA - TERRITORIO: La presente licencia se otorga, de manera no exclusiva, sin limitación geográfica o territorial alguna, de manera gratuita e indefinida.

TERCERA -ALCANCE: La presente licencia contempla la autorización para formato uso de **"LA OBRA"** en cualquier formato o soporte material y se extiende a la utilización, de manera enunciativa más no limitativa a los siguientes medios: óptico, magnético, electrónico, virtual (red), mensaje de datos o similar conocido por conocerse.

CUARTA – EXCLUSIVIDAD: La presente licencia de uso aquí establecida no implica exclusividad en favor del Instituto Tecnológico de Durango; por lo tanto, **"EL AUTOR Y/O TITULAR"** conserva los derechos patrimoniales y morales de **"LA OBRA"**, objeto del presente documento.

QUINTA – CRÉDITOS: El Instituto Tecnológico de Durango y/o el Tecnológico Nacional de México reconoce que el **"AUTOR Y/O TITULAR"** es el único, primigenio y perpetuo titular de los derechos morales sobre **"LA OBRA"**; por lo tanto, siempre deberá otorgarle los créditos correspondientes por la autoría de la misma.

SEXTA – AUTORÍA: **"EL AUTOR Y/O TITULAR"** manifiesta ser el único titular de los derechos de autor que derivan de **"LA OBRA"** y declara que el material objeto del presente fue realizado por él, sin violentar o usurpar derechos de propiedad intelectual de terceros; por lo tanto, en caso de controversia sobre los mismos, se obliga a ser el único responsable.

Dado en la Ciudad de Durango, Dgo., a los once días del mes de marzo de 2025.

"EL AUTOR Y/O TITULAR"

MANUEL CALZADA HUERECA

RESUMEN

El plomo es uno de los metales más tóxicos que existen, se obtiene generalmente de la minería y como consecuencia de esta, algunas veces lo que se puede encontrar en suelos agrícolas o ganaderos lo cual puede causar intoxicación en el cuerpo humano e incluso la muerte. Existen diversos métodos para remediar suelos contaminados con metales pesados, sin embargo, este estudio se centrará en una técnica fisicoquímica llamada electroremediación. Esta técnica consiste en la imposición de una diferencia de potencial para promover el flujo de electrones a través del suelo y promover reacciones de oxidación y reducción para remover los contaminantes del suelo. Si bien la técnica resulta exitosa por sí misma, existen la posible compatibilidad con otras técnicas de remediación de suelos que pueden ayudar a eficientizar o a aumentar la remoción de contaminantes. Es por ello por lo que, en el presente estudio, se realizaron experimentos híbridos con técnicas como la sonicación y el lavado de suelos. Se analizaron variables como la densidad de corriente y el tipo y concentración del electrolito. La investigación se desarrolló en modelos de suelo (sílice contaminada con un concentrado de galena), los cuales fueron tratados como ya se mencionó anteriormente, por medio de la técnica de electroremediación simple y electroremediación asistida de sonicación y lavado de suelos. Para la electroremediación simple con agitación las mejores condiciones se obtuvieron empleando una densidad de corriente de 150 A/m^2 , HCl como electrolito a una concentración 1 M, logrando remover $82.01\% \pm 3.80\%$ las mejores condiciones para la técnica híbrida de lavado de suelos-electroremediación se presentaron empleando una densidad de corriente de 150 A/m^2 , HCl como electrolito a una concentración 1 M, logrando remover $96.36\% \pm 3.03\%$, lo que indica un aumento del 14% de remoción empleando el tratamiento híbrido de lavado de suelos-electroremediación sobre la electroremediación simple. Para la técnica de electroremediación sin agitación, las mejores condiciones se obtuvieron empleando 150 A/m^2 , HCl como electrolito a una concentración 1 M, logrando remover $43.57\% \pm 4.58\%$, en el tratamiento híbrido de sonicación-electroremediación, las mejores condiciones fueron 150 A/m^2 , HCl como electrolito a una concentración 1 M, logrando remover $51.97\% \pm 9.68\%$. Estos

resultados muestran un aumento del 8.40% de remoción empleando el tratamiento híbrido de sonicación-electroremediación sobre la electroremediación simple en modo compacto.

ABSTRACT

Lead is one of the most toxic metals that exist, and it is generally obtained through mining. As a result of mining, it can sometimes be found in agricultural or livestock soils, which can cause poisoning in the human body and even death. There are various methods to remediate soils contaminated with heavy metals; however, this study will focus on a physicochemical technique called electroremediation. This technique involves applying a potential difference to promote the flow of electrons through the soil and trigger oxidation and reduction reactions to remove contaminants from the soil. While the technique is effective on its own, there is potential compatibility with other soil remediation techniques that can help increase efficiency or improve contaminant removal. For this reason, this study carried out hybrid experiments with techniques such as sonication and soil washing. Variables like current density and the type and concentration of the electrolyte were analyzed. The research was conducted on soil models (silica contaminated with galena concentrate), which were treated as mentioned earlier, using both simple electroremediation and electroremediation assisted by sonication and soil washing. For simple electroremediation with agitation, the best conditions were achieved by using a current density of 150 A/m^2 , HCl as the electrolyte at a concentration of 1 M, achieving $82.01\% \pm 3.80\%$ removal. The best conditions for the hybrid soil washing-electroremediation technique were found using a current density of 150 A/m^2 , HCl as the electrolyte at a concentration of 1 M, achieving $96.36\% \pm 3.03\%$ removal, indicating a 14% increase in removal using the hybrid soil washing-electroremediation treatment compared to simple electroremediation. For electroremediation without agitation, the best conditions were achieved with 150 A/m^2 , HCl as the electrolyte at a concentration of 1 M, achieving $43.57\% \pm 4.58\%$ removal. In the hybrid sonication-electroremediation treatment, the best conditions were 150 A/m^2 , HCl as the electrolyte at a concentration of 1 M, achieving $51.97\% \pm 9.68\%$ removal. These results show an 8.40% increase in removal using the hybrid sonication-electroremediation treatment compared to simple electroremediation in compact mode.