



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



Optimización de la TAE mediante el uso de cloruros (AlCl_3 y FeCl_3) y sus mezclas para la remoción de arsénico y fluoruros en agua de abastecimiento urbana

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de

Maestra en sistemas ambientales

Presenta:

Ing. Alejandra Ríos Ramírez

Director de tesis:

Dr. Félix Alonso Alcázar Medina

Codirector

M.C. José Rafael Irigoyen Campuzano

Durango, Dgo. México

Diciembre 2024





Victoria de Durango, Dgo., a **25 / Noviembre / 2024**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 572 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

C. ALEJANDRA RÍOS RAMÍREZ
No. DE CONTROL G22041488
PRESENTE.

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 Maestra en Sistemas Ambientales**, esta División de Estudios de Posgrado e Investigación le autoriza la impresión del mismo, cuyo título es:

"Optimización de la TAE mediante el uso de cloruros (AlCl₃ y FeCl₃) y sus mezclas para la remoción de arsénico y fluoruros en agua de abastecimiento urbana"

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

ATENTAMENTE.

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

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FIGGammc.





Victoria de Durango, Dgo., a **25 / Noviembre / 2024**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
DEPI / C / 571 / 2024.

ASUNTO: Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

C. ALEJANDRA RÍOS RAMÍREZ
No. DE CONTROL G22041488
PRESENTE.

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 Maestra en Sistemas Ambientales** cuyo título es:

“Optimización de la TAE mediante el uso de cloruros ($AlCl_3$ y $FeCl_3$) y sus mezclas para la remoción de arsénico y fluoruros en agua de abastecimiento urbana”

CONTENIDO:

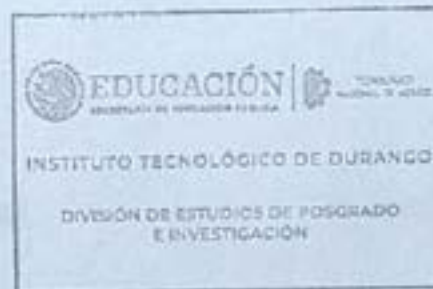
- CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN
- CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO
- CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS
- CAPÍTULO IV. RESULTADOS
- CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

Sin otro asunto en particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE.

Excelencia en Educación Tecnológica*
“La Técnica al Servicio de la Patria”

C. FRANCISCO JAVIER GODÍNEZ GARCÍA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



FJGG'ammc.





Durango, Dgo. a 19 de noviembre de 2024

Por este conducto se hace constar que la tesis cuyo título es **Optimización de la TAE mediante el uso de cloruros ($AlCl_3$ y $FeCl_3$) y sus mezclas para la remoción de arsénico y fluoruros en agua de abastecimiento urbana**, del alumno **Alejandra Ríos Ramírez**, con el número de control **22041488**, estudiante del programa **Maestría en Sistemas Ambientales**, revisada por segunda vez, se sometió al software Turnitin Similarity para ser examinado, en donde el reporte del software mencionado mostró un porcentaje de **14% de similitud general**.

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

En base a lo anterior se emite el siguiente dictamen.

Protocolo. Se autoriza el desarrollo del protocolo examinado

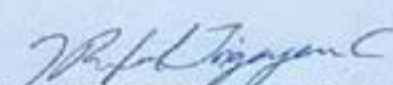
Tesis. Se autoriza dar inicio a los trámites de obtención de grado

Atentamente,

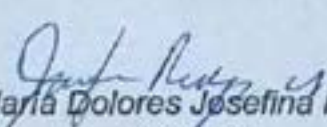

Dr. Félix Alonso Alcázar Medina

Director de la Tesis

Vo.Bo.


M.C. José Rafael Ingóyen Campuzano

Codirector de la Tesis


M.I. María Dolores Josefina Rosales

Rosales

Asesora



Dr. Víctor Jesús Martínez Gómez

Asesor

Ccp

Alumno

Coordinación del programa


Dr. Jaime Cristóbal Rojas Montes

Asesor



LICENCIA DE USO OTORGADA POR ALEJANDRA RIOS RAMÍREZ, de nacionalidad mexicana, mayor de edad, con domicilio ubicado en Calle C #136, Fraccionamiento Bosques del valle, Durango, Dgo., en mi calidad de titular de los derechos patrimoniales y morales y autor de la tesis denominada "OPTIMIZACIÓN DE LA TAE MEDIANTE EL USO DE CLORUROS ($AlCl_3$ Y $FeCl_3$) Y SUS MEZCLAS PARA LA REMOCIÓN DE ARSÉNICO Y FLUORUROS EN AGUA DE ABASTECIMIENTO URBANA" 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 diez días del mes de noviembre de 2021.

"EL AUTOR Y/O TITULAR"

ALEJANDRA RIOS RAMÍREZ



Optimización de la TAE mediante el uso de cloruros ($AlCl_3$ y $FeCl_3$) y sus mezclas para la remoción de arsénico y fluoruros en agua de abastecimiento urbana

Presenta:

Ing. Alejandra Ríos Ramírez

COMITÉ TUTORIAL

<u>Dr. Félix Alonso Alcázar Medina</u> Directo	 Firma
<u>M.C. José Rafael Ingoyen Campuzano</u> Codirector	 Firma
<u>M.I. María Dolores Josefina Rodríguez Rosales</u> Asesor	 Firma
<u>Dr. Jaime Cristóbal Rojas Montes</u> Asesor	 Firma
<u>Dr. Víctor Jesús Martínez Gómez</u> Asesor	 Firma

M.C. Tania Montoya García
**Coordinador de la Maestría en
Sistemas Ambientales**

Dr. Francisco Javier Godínez
García
**Jefa de la División de Estudios de
Posgrado e Investigación**

Durango, Dgo. México

Diciembre 2024



NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS-BORRADOR-2.0 (1) ARR.docx

AUTOR

Alejandra Rios Ramirez

RECUENTO DE PALABRAS

16369 Words

RECUENTO DE CARACTERES

85716 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

78 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

19.2MB

FECHA DE ENTREGA

Oct 4, 2024 11:20 AM CST

FECHA DEL INFORME

Oct 4, 2024 11:22 AM CST**● 14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



RESUMEN

La presencia de fluoruro y arsénico en el agua subterránea y superficial es originada naturalmente y de forma antropogénica. Las altas concentraciones de estos en los pozos de agua del Acuífero Valle del Guadiana superan los límites máximos permisibles estipulados por la NOM-127-SSA1-2021, siendo un riesgo para la salud pública y ambiental. Este proyecto propone evaluar la eficacia de la Técnica de Aglomeración Esférica (TAE) utilizando $AlCl_3$, $FeCl_3$ y sus mezclas para eliminar estos contaminantes del suministro de agua urbana.

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica para identificar el pozo con mayor concentración de fluoruro y arsénico, siendo este el punto de muestreo (pozo No. 50, Seminario), se preparó un modelo acuoso basado en la concentración que presentaba el pozo al momento del muestreo (5.1 mg L^{-1} fluoruro con 0.026 mg L^{-1} de arsénico), lo que excede a la normatividad establecida para dichos elementos. Posteriormente, se evaluó la eficacia del tratamiento de agua en modelos acuosos, utilizando $AlCl_3$ y $FeCl_3$ como precursores de adsorbentes para la remoción de fluoruro y arsénico. La combinación de ambos adsorbentes, junto con el ajuste de parámetros como el pH y la dosis de surfactante y humectante, permitieron optimizar la eficiencia del tratamiento, obteniendo porcentajes de remoción significativos para mejorar la calidad del agua.

Se alcanzaron remociones del 75% de fluoruro al emplear una mezcla de $Al(OH)_3$ y $Fe(OH)_3$, con una dosis de 0.20 g L^{-1} , pH inicial de 6.86 y una velocidad de agitación de 200 rpm. Estas condiciones fueron clave para una adsorción eficiente, y los resultados indicaron el adecuado ajuste de pH del agua tratada en la primera etapa del tratamiento resultó ser primordial para optimizar la remoción de fluoruro. En cuanto al arsénico, al haberse empleado una dosis de mezcla con una misma cantidad de $Fe(OH)_3$ que de $Al(OH)_3$, se logró una remoción de entre el 80% y el 99%.



Los resultados mediante condiciones específicas redujeron la concentración de fluoruro y arsénico por debajo de lo estipulado en la regulación mexicana.

ABSTRACT

The presence of fluoride and arsenic in groundwater and surface water is both naturally occurring and anthropogenic. The high concentrations of these in the water wells of the Guadiana Valley Aquifer exceed the maximum permissible limits stipulated by NOM-127-SSA1-2021, being a risk to public and environmental health. This project proposes to evaluate the effectiveness of the Spherical Agglomeration Technique (SAT) using AlCl_3 , FeCl_3 and their mixtures to remove these contaminants from the urban water supply.

A literature review was carried out to identify the well with the highest concentration of fluorides and arsenic, being this the sampling point (well No. 50, Seminario), an aqueous model was prepared based on the concentration presented by the well at the time of sampling (5.1 mg L^{-1} fluoride with 0.026 mg L^{-1} of arsenic), which exceeds the regulations established for these elements. Subsequently, the efficacy of water treatment in aqueous models was evaluated using AlCl_3 and FeCl_3 as adsorbent precursors for fluoride and arsenic removal. The combination of both adsorbents, together with the adjustment of parameters such as pH and the dose of surfactant and wetting agent, allowed optimizing the efficiency of the treatment, obtaining significant removal percentages to improve water quality.

Fluoride removals of 75% were achieved when using a mixture of $\text{Al}(\text{OH})_3$ and $\text{Fe}(\text{OH})_3$, with a dosage of 0.20 g L^{-1} , initial pH of 6.86 and an agitation speed of 200 rpm. These conditions were key for efficient adsorption, and the results indicated the proper pH adjustment of the treated water in the first stage of the treatment proved to be paramount to optimize fluoride removal. As for arsenic, when the doses of $\text{Fe}(\text{OH})_3$ and $\text{Al}(\text{OH})_3$ were mixed at the same rate, a removal of between 80% and 99% was achieved.





The results through specific conditions reduced the concentration of fluorides and arsenic below the stipulated in the Mexican regulation.

