



# **TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**

## **INSTITUTO TECNOLÓGICO DE DURANGO**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

“Electrodiálisis aplicada a la remoción del flúor de aguas de pozo de la ciudad de Durango”

**TESIS**

Como parte de los requisitos para obtener el grado de

**MAESTRO(A) EN SISTEMAS AMBIENTALES**

Presenta

Anaid Michelle Esquivel Martínez

Victoria de Durango, Dgo.

Mayo, 2022



“Electrodialisis aplicada a la remoción del flúor de aguas de pozo de la ciudad de Durango”

Por

Anaid Michelle Esquivel Martínez

## COMITÉ TUTORIAL

### DIRECTOR DE TESIS

Dr. Jaime Cristóbal Rojas Montes

### ASESORES

Dr. Víctor Jesús Martínez Gómez

Dra. Diana Cristina Martínez Casillas

M.I. María Dolores Josefina Rodríguez Rosales

Dr. Alfredo de Jesús Martínez Roldán



Victoria de Durango, Dgo., a **29 / Abril / 2022.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 210 / 22.

**ASUNTO:** Autorización de Impresión de Tesis de Maestría.

**C. ANAID MICHELLE ESQUIVEL MARTÍNEZ**  
**No. DE CONTROL G09040530**  
**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:

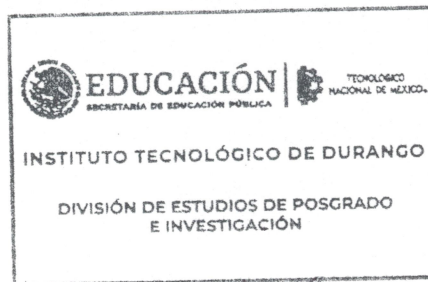
**“Electrodialísis aplicada a la remoción del flúor de aguas de pozo de la ciudad de Durango”**

Sin otro particular de momento, quedo de Usted.

**ATENTAMENTE.**

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

**C. ADRIANA ERÉNDIRA MURILLO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



AERM/ammc.



Fecha de Inicio: 2015-12-31  
Fecha de Última Actualización: 2016-12-31  
Fecha de Reevaluación: 2018-01-31  
Fecha de Terminación: 2021-12-31  
RSGC 957





Victoria de Durango, Dgo., a **29 / Abril / 2022.**

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
DEPI / C / 209 / 22.

**ASUNTO:** Autorización de Tema de Tesis de Maestría.

**C. ANAID MICHELLE ESQUIVEL MARTÍNEZ**  
**No. DE CONTROL G09040530**  
**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 Maestra en Sistemas Ambientales** cuyo título es:

**"Electrodiálisis aplicada a la remoción del flúor de aguas de pozo de la ciudad de Durango"**

**CONTENIDO:**

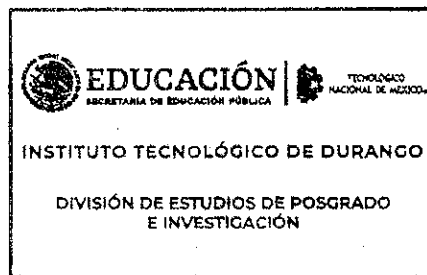
- CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN
- CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO
- CAPÍTULO III. METODOLOGÍA
- CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
- CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

Sin otro asunto en particular, quedo de Usted.

**ATENTAMENTE.**

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

**C. ADRIANA ERÉNDIRA MURILLO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE**  
**POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



AERM/ammc.



Fecha de Impresión: 2022/04/29  
Fecha de Última Carga: 2022/04/29  
Fecha de Emisión: 2022/04/29  
RSCC 957



## RESUMEN

De todos los recursos naturales encontrados en nuestro planeta el agua es el más esencial y preciado, sin embargo, con el paso del tiempo este recurso lo han estado agotando los seres humanos por la demanda del mismo. En el norte de México la principal fuente de abastecimiento de agua es por medio de los acuíferos y debido a la gran demanda de agua que se tiene se ha ocasionado una sobreexplotación de algunos de ellos. En la ciudad de Durango el agua es abastecida por el acuífero Valle del Guadiana, el cual está sobreexplotado, presentando la problemática de altas concentraciones de flúor, por lo que la totalidad de los pozos de dicha ciudad están por encima de la normatividad. Por esta razón la población se expone a la ingesta de este elemento provocando daños a la salud (i.e. fluorosis dental), este proyecto propone la técnica de electrodiálisis como una alternativa para remover la concentración de flúor hasta alcanzar el límite máximo permisible (1.5 mg/L) que marca la norma NOM-127-SSA1-1994. Se realizaron pruebas preliminares de electrodiálisis con agua de pozo analizando variables como la densidad de corriente, la velocidad de agitación y la concentración de cloruro de sodio. Después se realizaron pruebas a dos pozos uno con condiciones oxidantes y otro con condiciones más oxidantes evaluando la densidad de corriente y la velocidad de agitación. Las remociones deseadas se alcanzaron (concentración <1.5 mg/L) en un tiempo máximo de 30 minutos; a los 60 minutos de las pruebas realizadas se llegaron a porcentajes de remoción cercanos o por encima del 90%; el pozo con condiciones oxidantes tuvo mayores remociones en comparación al pozo con condiciones más oxidantes, sin embargo, este último tuvo los menores consumos de energía. Se obtuvieron eficiencias de corriente para ambos pozos (con condiciones oxidantes y más oxidantes) por debajo del 3%.

## **ABSTRACT**

Of all the natural resources found on our planet, water is the most essential and precious, however, over time this resource has been depleted by human beings due to its demand. In northern Mexico, the main source of water supply is through aquifers and due to the great demand for water, some of them have been overexploited. In the city of Durango, the water is supplied by the Valle del Guadiana aquifer, which is overexploited, presenting the problem of high concentrations of fluoride, whereby all the wells in this city are over the regulations. For this reason, the population is exposed to the intake of this element, causing damage to health (i.e. dental fluorosis). This project proposes the electrodialysis technique as an alternative to remove the concentration of fluoride up to the maximum permissible limit (1.5 mg/ L) that marks the standard NOM-127-SSA1-1994. Preliminary electrodialysis tests were carried out with well water, analyzing variables such as current density, agitation speed and sodium chloride concentration. Afterwards, tests were carried out on two wells, one with oxidizing conditions and the other with more oxidizing conditions, evaluating the current density and the agitation speed. The desired removals were achieved (concentration <1.5 mg/L) in a maximum time of 30 minutes; after 60 minutes, were reached removal percentages close to or above 90%; the well with oxidizing conditions had higher removals compared to the well with more oxidizing conditions, however, the last one had the lowest energy consumption. Current efficiencies were obtained for both wells (with oxidizing and more oxidizing conditions) below 3%.