



c i d e t e q

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO  
TECNOLÓGICO EN ELECTROQUÍMICA, S.C.

---

EVALUACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LOS  
PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DEL SUELO  
PROCEDENTE DE SAN JOAQUÍN, QUERÉTARO;  
DESPUÉS DEL TRATAMIENTO ELECTROCINÉTICO  
PARA LA REMOCIÓN DE MERCURIO

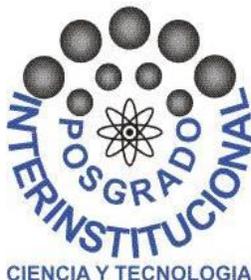
# Tesis

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

*Doctor en Ciencia y Tecnología  
en la Especialidad de Ingeniería Ambiental*

PRESENTA

Irma Robles Gutiérrez



Santiago de Querétaro, Qro., México, abril de 2015.



**Este trabajo fue realizado en el Centro de  
Investigación y Desarrollo Tecnológico en  
Electroquímica (CIDETEQ), bajo la dirección  
de:**

**Dra. Erika Bustos Bustos**

# *Agradecimientos*

Quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología “CONACYT” por el apoyo de beca doctoral, al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica “CIDETEQ” por recibirme como estudiante y brindarme la posibilidad de desarrollarme profesionalmente; de igual manera agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro “CONCYTEQ” por el apoyo para asistencia a cursos y congresos.

Agradezco a mi asesora, la Dra. Erika Bustos Bustos, por el apoyo durante mis estudios. También quiero expresar mi agradecimiento a las personas que contribuyeron para que este proyecto se desarrollara de la mejor manera posible: Dr. Luis Arturo Godínez Mora-Tovar, Dr. Francisco Rodríguez Valadez, Dr. Juan Manríquez Rocha, y Dr. José de Jesús Pérez Bueno de CIDETEQ. Al Dr. Gilberto Hernández Silva y M. en C. Sara Solís Valdez, del Centro de Geociencias, UNAM Campus Juriquilla; y también al Dr. Yamir Bandala del Tecnológico de Monterrey, Campus Estado de México.

Una parte importante de este estudio fue desarrollada en el Instituto de Química de la Facultad de Ciencia de los Materiales e Ingeniería de la Universidad de Miskolc, en Hungría; por lo cual agradezco al Proyecto Bilateral MX – 9/2009 México-Hungría, Fondo C0005; titulado “*Determination and Investigation of Hg and other heavy elements with electroremediation in soil and sediment samples of the San Joaquin región, Mexico*”. Mi reconocimiento y especial agradecimiento al Dr. János Lakatos por su apoyo durante la estancia en la Universidad de Miskolc, además del Dr. Péter Pal Scháreck retirado del Instituto de Geología y Geofísica de Hungría, por el apoyo durante mi estancia en Hungría.

Finalmente quiero agradecer al Grupo Electroquímica Ambiental de CIDETEQ, y a los estudiantes de los veranos de investigación 2013 y 2014, Tania Serrano Juárez, María José Lozano Cruz y Hugo Fernando Chávez Prieto, por todo su apoyo.

Este trabajo está dedicado a las personas que confiaron en mí y me apoyaron en cada momento, mi familia y amigos.

# *Resumen*

Se aplicó el tratamiento electrocinético a un suelo contaminado con mercurio procedente de San Joaquín, Querétaro, facilitado por EDTA como agente complejante. Para llevar a cabo este estudio, fue necesario caracterizar un conjunto de muestras de suelo representativas del sitio para conocer las propiedades fisicoquímicas, con el fin de verificar de qué manera se fija el mercurio al suelo.

Posteriormente, se analizó el efecto de algunas muestras orgánicas e inorgánicas como representativas de los componentes del suelo, en la adsorción de mercurio. De este estudio se encontró que el mercurio presenta una mayor asociación a los componentes orgánicos, siendo la lignita, el material al cual se adsorbió en mayor proporción debido a los grupos funcionales que asocian al mercurio y que están presentes en esta matriz. A partir de estos resultados se analizaron diferentes modelos teóricos de adsorción respecto a la concentración de mercurio adicionada y tiempo, así como el efecto del flujo en una columna de adsorción empacada con lignita.

Como estudio representativo de las interacciones que presenta el mercurio con las arcillas en las muestras de suelo de San Joaquín, se analizaron los parámetros cinéticos y termodinámicos de la adsorción de mercurio en bentonita de calcio, la cual sirvió como modelo de estudio de la interacción mercurio-bentonita.

Luego de conocer los efectos de los componentes del suelo en la adsorción de mercurio, se estudiaron las condiciones del tratamiento electrocinético mediante la construcción de curvas de polarización, para lo cual se compararon dos sistemas de configuración 1D, uno rectangular y otro cilíndrico con flujo. Después de realizar la comparación, se observó que el arreglo rectangular sin flujo presentó las mejores ventajas, siendo éste el arreglo más simple, fácil de operar y de menor costo asociado a la cantidad de EDTA utilizado.

Con el arreglo rectangular 1D, se analizó el efecto del tiempo en el tratamiento electrocinético, siendo un tiempo de 72 h el adecuado para remover el 76 % de mercurio presente en suelo. Por lo anterior, se considera que el mercurio restante en el suelo permanece fijado a las fracciones ricas en sulfatos y carbonatos, ya que son las que enlazan más fuertemente al mercurio.

Finalmente, la solución extraída del proceso electrocinético fue tratada en un reactor de flujo horizontal en cuyo interior se colocó una barrera permeable reactiva de  $\text{Fe}^0$ , con este sistema se logró extraer el 84 % del mercurio presente en solución.