



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
Unidad Xochimilco



INECC

INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA Y  
CAMBIO CLIMÁTICO

# Universidad Autónoma Metropolitana

## Unidad Xochimilco

División de Ciencias Biológicas y de la Salud  
Departamento de sistemas biológicos  
Licenciatura en Química Farmacéutica Biológica

Informe de conclusión del Servicio Social:  
**“Monitoreo de mercurio, identificación y cuantificación en  
muestras ambientales”**

Realizado en el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático durante el  
periodo 22 de julio del 2024 al 22 de enero del 2025

Quien presenta: Miguel Angel Ortega Vázquez

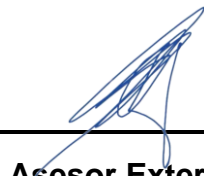
Matrícula:2193070327

Asesor interno:  
Dr. Juan Manuel Martínez Núñez

Asesor externo:  
Dr. Luis Daniel Sifuentes Vázquez

Ciudad de México, Enero 2025

## ASESORES RESPONSABLES



---

### **Asesor Externo**

Dr. Luis Daniel Sifuentes Vázquez

Cédula: 14184318

Director de los laboratorios del INECC



---

### **Asesor Interno**

Dr. Juan Manuel Martínez Núñez.

Número económico: 35134

Departamento Sistemas Biológicos

División de Ciencias Biológicas de la Salud

## 1.- Introducción.

En la actualidad, la contaminación del medio ambiente ha suscitado una creciente preocupación en la sociedad. Sin embargo, es en las últimas décadas que la cuestión ambiental comienza a ocupar los primeros lugares de la atención mundial (Ibarra, 2016). La Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en 2015 definió a la contaminación como el deterioro o desequilibrio de los componentes habituales de las esferas físicas de la Tierra (Geosfera, Hidrosfera, Atmósfera y Biosfera). Por otra parte, cuando ocurre una modificación del ambiente por la acción del hombre o de la naturaleza, este hecho se define como impacto ambiental (SEMARNAT, 2018).

Las fuentes de contaminación pueden ser naturales, artificiales o antropogénicas, según intervenga o no la actividad humana; entre las principales fuentes de contaminantes emitidos al medio ambiente por actividad antropogénica, destaca la minería (Yarto, 2013). Los impactos ambientales ocasionados por el manejo de los residuos sólidos generados por esta actividad económica dañan significativamente al medio ambiente y a la salud humana (NOM-157-SEMARNAT-2009). Covarrubias y Peña (2017) aseguraron que la contaminación por metales pesados en México es un problema que va en aumento debido a la actividad antrópica, específicamente por la minería; destacaron al arsénico, plomo, cromo y mercurio como los metales contaminantes más significativos en México por su toxicidad y abundancia, siendo el mercurio altamente peligroso y considerado por la OMS como una de las 10 sustancias químicas que generan especiales problemas a la salud pública (Covarrubias, 2017). Esta sustancia afecta principalmente los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel, los pulmones, los riñones y los ojos; la exposición al mercurio es peligrosa para el desarrollo intrauterino y en las primeras etapas de vida (OPS, 2016).

El mercurio es un metal líquido inodoro, plateado y volátil a temperatura ambiente, dadas sus características químicas es utilizado para muchas industrias por ejemplo como catalizador en oxidaciones orgánicas, recubrimiento de espejos, en la generación de amalgamas, pilas, generación de algunos productos farmacéuticos y vacunas y en la extracción de oro y plata de sus minerales (UNAM, 2016).

En México hay extracción primaria de mercurio y se sabe que en varios estados practica la minería artesanal para la recuperación de otros metales por amalgamamiento con mercurio. La minería artesanal se refiere a la explotación de yacimientos por individuos, grupos, familias o cooperativas, y que usualmente operan en el sector informal del mercado. Esta actividad se realiza con herramientas y procesos técnicos rudimentarios y durante este proceso, existe una alta exposición al mercurio, polvo y otras sustancias químicas, generando condiciones de alto riesgo ocupacional y prácticas ambientales dañinas para el ecosistema y la salud de la población (Biomédica 2012). Para generar la amalgama, se añade mercurio a todo el mineral durante la trituración, molienda y posterior lavado; luego la amalgama se coloca al fuego en hornos artesanales, los vapores de mercurio escapan al aire y son inhalados por los mineros, sus familias y demás personas que se encuentren cerca (UNEP 2008).

Los hechos previamente descritos, la pobreza generalizada y la exclusión social en las regiones donde se practica la minería artesanal en nuestro país, ocasionan

daños por los impactos ambientales que afectan directamente los ecosistemas y a la salud humana. Se reporta que los niveles de mercurio de la atmósfera son un 500 % superiores a los niveles naturales y en los océanos, los niveles de mercurio son en torno a un 200 % superiores a los niveles naturales (Marnane, 2018). Esta preocupación actual por el deterioro de la salud y el ambiente se ve plasmada en diversas iniciativas, entre ellas el Convenio de Minamata, el cual es un tratado internacional diseñado para proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y las liberaciones antropogénicas de mercurio y sus compuestos (ONU, 2020). Este convenio fue ratificado por México en septiembre de 2015 y entró en vigor en agosto de 2017.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) es un organismo del Estado Mexicano que genera e integra investigación técnica y científica en materia de ecología y cambio climático, para apoyar la toma de decisiones. Es por ello que el INECC está desarrollando métodos para la detección de mercurio en matrices ambientales como aire y suelo para realizar evaluaciones de sitios contaminados con mercurio en México, además, de buscar reducir el uso de este metal por las afectaciones que causa al medio ambiente y a la salud de la población.

## **2.- Objetivo general**

Participar en la validación de métodos analíticos que permitan monitorear, identificar y cuantificar mercurio en muestras ambientales (suelo y aire).

### **2.1- Objetivos particulares**

- Realizar la búsqueda de los métodos analíticos nacionales e internacionales existentes para el análisis de mercurio en muestras ambientales, para generar un documento de consulta con los métodos encontrados.
- Colaborar en el desarrollo del método para la determinación de mercurio en suelo sin tratamiento previo para realizar las pruebas de desempeño correspondientes a la validación del método.
- Proporcionar información bibliográfica internacional sobre validación de métodos para el monitoreo de mercurio en aire, a partir del cual se desarrollará una metodología para la validación de la cuantificación de mercurio en aire.

## **3.- Metodología**

A continuación, se describen las actividades desarrolladas para la validación del método para la determinación de mercurio total en suelos, así como el desarrollo de una metodología de medición de vapor de mercurio en el aire.

1. Se recibió una capacitación en el uso del equipo analizador de vapor de mercurio (LUMEX RA-915M) y su accesorio (Pyro-915+).
2. Se recibió una capacitación en el uso correcto de balanza y micropipetas, posteriormente, se trabajó en la verificación de estos instrumentos.
3. Se realizó la búsqueda de información bibliográfica sobre métodos para la calibración de mediciones de vapor de mercurio. Se usaron las bases de datos Google Scholar, ScienceDirect y SciFinder; con las palabras claves: mercurio, vapor de mercurio, calibración, mercury calibration device, Bell-jar apparatus.

4. Una vez desarrollada la validación del método para determinar la concentración de mercurio en suelo, realizada por el personal del INECC, se recibió capacitación en el método validado para determinar mercurio en suelo
5. Se desarrollaron protocolos normalizados de trabajo para análisis de mercurio en suelo, otro para vapor de mercurio en aire y un tercero para realizar una curva de calibración para determinar mercurio en muestras de suelo. De igual manera, se apoyó en la generación de instructivos para utilizar los equipos de análisis de mercurio en suelo y en aire.
6. Se apoyó en el tratamiento de datos obtenidos de monitoreo de vapor de mercurio realizado por personal del INECC, así como la generación de gráficos y análisis de los resultados.
7. Se auxilió en la redacción de informes con la búsqueda de información e integración de los resultados obtenidos de monitoreo de vapor de mercurio.

### **5.- Actividades realizadas**

Las principales actividades realizadas en el INECC durante el periodo de servicio social fueron:

- Determinación analítica de mercurio en matrices ambientales (suelo y aire)
- Métodos analíticos
- Preparación de disoluciones
- Preparación de curvas de calibración
- Análisis de resultados

### **5.- Objetivos y metas alcanzados**

- Se realizó con éxito la búsqueda de los métodos analíticos nacionales e internacionales existentes para el análisis de mercurio en muestras ambientales, para generar un documento de consulta con los métodos encontrados.
- Se colaboró en el desarrollo del método para la determinación de mercurio en suelo sin tratamiento previo para realizar las pruebas de desempeño correspondientes a la validación del método.
- Se proporcionó información bibliográfica internacional sobre validación de métodos para el monitoreo de mercurio en aire, a partir del cual se desarrollará una metodología para la validación de la cuantificación de mercurio en aire.

### **6.- Resultados y conclusiones**

Durante el periodo de Julio del 2024 a Enero de 2025, se desarrolló el proyecto de servicio social "Monitoreo de mercurio, identificación y cuantificación en muestras ambientales" se cumplieron de forma satisfactoria los objetivos planteados en el protocolo previamente aprobado por la Coordinación divisional de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana y por la Coordinación de la licenciatura de Química Farmacéutica Biológica.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos y/o informes desarrollados durante la estancia en el INECC, son de carácter confidencial y controlados, por lo que no podrán ser mostrados dentro de este documento. Sin embargo, algunos puntos importantes que se pueden rescatar de este proyecto son:

- Se cumplió con la capacitación en el uso de equipos e instrumentos de laboratorio: Espectrofotómetro de absorción atómica (EEA), software “RAPID”, balanza analítica (especial I), micropipeta, etc. En el caso específico de la balanza analítica y la micropipeta, se generaron reportes de resultados donde se determinó la linealidad, excentricidad, repetibilidad y exactitud. Estos reportes fueron revisados por el supervisor.
- Con la bibliografía consultada, se creó un documento donde se conjuntó esta información y fue entregada al supervisor. Al mismo tiempo, esta información fue utilizada más tarde para redactar y complementar los informes sobre los resultados obtenidos en el monitoreo de vapor de mercurio.
- Una vez completada la capacitación para realizar el método validado para la determinación de mercurio total en suelo por descomposición térmica acoplada a EEA, se realizó el análisis de muestras de suelo que se ingresaron al laboratorio.
- Los resultados de concentración de vapor de mercurio obtenidos en diferentes sitios del estado de Querétaro, derivado del monitoreo de aire realizado por personal del INECC, se utilizaron para generar gráficas que muestran la concentración de mercurio a través del tiempo, comparando con valores obtenidos con el valor límite de referencia que señala la Environmental Protection Agency (EPA) el cual es de 300 ng/m<sup>3</sup>. Estas gráficas se realizaron con la finalidad que faciliten la comprensión de los datos y la situación en la que se encuentra la población que está expuesta a estos niveles de mercurio en aire.
- Con los datos obtenidos en los análisis de suelo y aire, se generaron 3 informes de resultados con el fin de evidenciar la situación que presenta el país en tema de contaminación de mercurio en sitios donde se practica minería y sirvan como fundamento técnico para incentivar acciones encaminadas a reducir la contaminación por este metal y con ello mejorar la salud del ambiente y las personas.
- Por último, los protocolos normalizados de trabajo desarrollados fueron:
  1. “PT-LEPM-01. DETERMINACIÓN DE VAPOR DE MERCURIO EN AIRE POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA”. Donde se describe el uso y recomendaciones para poder analizar, de manera correcta, concentraciones de mercurio en aire con el equipo RA-915M mercury analyzer.
  2. “PT-LEPM-02. CURVA DE CALIBRACIÓN PARA DETERMINAR MERCURIO EN MUESTRAS DE SUELO PARA ANÁLISIS POR DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA ACOPLADO A EEA”. Donde se describen los pasos para desarrollar una curva de calibración con concentraciones conocidas de mercurio en suelo, utilizando el analizador de vapor de mercurio RA-915M, su accesorio Pyro-915+ y el software RAPID

3. "PT-LEPM-03. DETERMINACIÓN DE MERCURIO TOTAL EN SUELO USANDO DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA ACOPLADO A EAA". Donde se describe el correcto procedimiento para la preparación de las muestras, el análisis de muestras de suelo que contienen mercurio y el análisis de resultados, utilizando el analizador de vapor de mercurio RA-915M, su accesorio Pyro-915+ y el software RAPID.

- Los instructivos desarrollados fueron:

1. "INS-LEPM-01. MANTENIMIENTO DEL ANALIZADOR DE VAPOR DE MERCURIO POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA". Donde se explican las diferentes funciones, configuraciones, parámetros, verificación, inspección y posibles errores del analizador de vapor de mercurio RA-915M.

2. "INS-LEPM-02. INSTRUCTIVO DE MANTENIMIENTO Y VERIFICACIÓN DEL ANALIZADOR DE VAPOR DE MERCURIO Y ACCESORIO DE DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA". Donde se describen las partes y accesorios principales del Pyro-915+, su montaje y desmontaje, posibles errores y soluciones, y su mantenimiento en general.

## **7.- Recomendaciones y aporte a la sociedad**

Se recomienda a la población en general evitar la compra, venta, uso y/o promoción de aparatos, instrumentos o dispositivos que contengan mercurio y sus derivados debido a que puede ser una fuente potencial de contaminación; Por ende, puede representar un riesgo para la salud. Se recomienda mantenerse informado a las actualizaciones publicadas en el DOF referentes a mercurio en materia de salud y medio ambiente, así como las recomendaciones, prohibiciones y sugerencias que pudiera emitir la SEMARNAT y el INECC en este mismo rubro.

Colaborar en la validación de métodos analíticos para la cuantificación de mercurio en matrices ambientales como aire y suelo en sitios potencialmente contaminados permitirá contribuir a garantizar el derecho constitucional de la población a contar con un medio ambiente sano, adecuado para su desarrollo y bienestar. Al mismo tiempo, se busca prevenir e informar a la población acerca de los efectos tóxicos del mercurio.

## **8.-Bibliografía**

- Biomédica. (2012) Contaminación con mercurio por la actividad minera. Revista Biomédica vol. 32 no.3 Bogotá, Colombia.
- Covarrubias S., Peña J. (2017). CONTAMINACIÓN AMBIENTAL POR METALES PESADOS EN MÉXICO: PROBLEMÁTICA Y ESTRATEGIAS DE FITORREMEDIACIÓN. Revista internacional de contaminación ambiental, 33 (Especial Biotecnología e ingeniería ambiental), 7-21. México, Guanajuato.
- Encinas M. (2011). Proceso de contaminación atmosférica. Medio ambiente y contaminación. España, Madrid.

- González F, Camprubí A. (2010). La pequeña minería en México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, vol.62 no.1. Ciudad de México.
- Harris, D. (2001). *Análisis químico cuantitativo*. (2da ed.). Reverté S.A. España, Barcelona.
- Ibarra R. (2016) La explotación petrolera mexicana frente a la conservación de la biodiversidad en el régimen jurídico internacional. Instituto de investigaciones jurídicas. UNAM. México, D.F.
- Marnane I. (2018) El mercurio, una amenaza persistente para el medio ambiente y la salud. Agencia Europea del Medio Ambiente. Consultado en: <https://www.eea.europa.eu/es/articulos/el-mercurio-una-amenazapersistente>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009 (2009). Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. Consultado en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4485/semarnat1/semarnat1.htm#:~:text=Que%20la%20miner%C3%ADa%20es%20una%20actividad%20que,la%20Prevenci%C3%B3n%20y%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20I%20OS>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2020). *El Convenio de Minamata sobre el mercurio: Tres años de protección de la salud humana y el medio ambiente*. Consultado en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-convenio-de-minamata-sobre-el-mercurio-tres-anos-de-proteccion>
- Organización Panamericana de la Salud. (2010) Determinantes ambientales y sociales de la salud. Washington, D.C.
- Piña X., Lué-Merú M., Poleo G., Rojas J., Torres G. Optimización de un método analítico para la determinación de mercurio en muestras ambientales por espectrometría UV-Visible Avances en Química, vol. 7, núm. 3, septiembre-diciembre, 2012, pp. 171-180 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2008). El uso del mercurio en la minería del oro artesanal y en pequeña escala. Subdivisión de productos químicos. Suiza, Ginebra.
- Secretaría de economía. 2024. Minería. Acciones y programas. Gobierno de México. Consultado en: <https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/mineria#:~:text=En%20cuanto%20a%20inversi%C3%B3n%20se,atrae%20mayor%20inversi%C3%B3n%20al%20pa%C3%ADs.> [09/07/24].
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2018). Impacto ambiental y tipos de impacto ambiental. Gobierno de México. Consultado en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/impacto-ambiental-y-tipos-de-impacto-ambiental>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2016). Boletín UNAM-DGCS-204. Consultado en: [https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2016\\_204.html#:~:text=El%20mercurio%20\(Hg\)%20es%20un,ser%20monitoreado%20d%C3%ADa%20a%20d%C3%ADa.](https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2016_204.html#:~:text=El%20mercurio%20(Hg)%20es%20un,ser%20monitoreado%20d%C3%ADa%20a%20d%C3%ADa.)