

## Metales pesados y metaloides de interés toxicológico en el estado de Hidalgo, México Heavy metals and metalloids of toxicological interest in the state of Hidalgo, México

Z. Lara-Trejo <sup>a,\*</sup>, J.C. Gaytán-Oyarzún <sup>b</sup>

<sup>a, b</sup> Área Académica de Biología, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

### Resumen

Existen fuentes de contaminación que contribuyen a la degradación del ambiente y que son un riesgo potencial para la salud humana. Dentro de los contaminantes ambientales más peligrosos se encuentran metales y metaloides de interés toxicológico (MMIT), porque además de ser altamente tóxicos para los seres humanos y la biota en general, son elementos altamente peligrosos debido a que tienen un origen natural y antropogénico, con propiedades fisicoquímicas que les permiten moverse y acumularse en el ambiente, atravesar membranas biológicas y acumularse dentro de los seres vivos. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica sobre la presencia de estos compuestos en el estado de Hidalgo, reconocer las principales fuentes de contaminación, como las actividades primarias y secundarias a las que se asocian, incluyendo condiciones sociales y situacionales que suscitan la exposición ante estos elementos; la identificación de matrices ambientales en donde pueden estar presentes y las concentraciones ambientales que se han reportado en el estado.

**Palabras Clave:** Contaminación, metales, metaloides, peligro, riesgo.

### Abstract

There are sources of pollution that contribute to the degradation of the environment and they are a potential risk to human health. Among the most dangerous environmental contaminants are metals and metalloids of toxicological interest (MMIT), because in addition to being highly toxic for humans and biota in general, they are highly dangerous elements because they have a natural and anthropogenic origin, with properties physicochemicals that allow them to move and accumulate in the environment, cross biological membranes and accumulate within living beings. Therefore, the objective of this work is to carry out a bibliographic review on the presence of these compounds in the State of Hidalgo, to recognize the main sources of contamination, such as the primary and secondary activities to which they are associated, including social and situational conditions that they provoke exposure to these elements; the identification of environmental matrices where they may be present and the environmental concentrations that have been reported in the state.

**Keywords:** Pollution, metals, metalloids, danger, risk.

### 1. Introducción

Los *metales pesados* y *metaloides* como el aluminio (Al), níquel (Ni), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), Zinc (Zn), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb), son elementos químicos que poseen un alto potencial de peligrosidad para los seres vivos y el ambiente, debido a su alta toxicidad, su origen tanto natural como antropogénico, su capacidad de acumulación y permanencia ambiental; así como por su biodisponibilidad (Bustamante y Chaparro et al., 2015).

Debido a su alta densidad, es muy complicado de removerlos del medio ambiente y de los organismos, no se degradan ni química, ni biológicamente; además pueden atravesar membranas biológicas y acumularse dentro de los seres vivos. Sin embargo, no todos son de interés toxicológico,

ya que algunos se requieren en bajas concentraciones y contribuyen a la salud del ser humano, como el hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Este trabajo se enfoca en los metales y metaloides de interés toxicológico (MMIT), elementos capaces de generar daños en el ambiente y en los seres vivos incluso a bajas concentraciones.

Estos elementos están presentes en el ambiente de forma natural como minerales que forman parte de la corteza terrestre y de procesos geológicos como las erupciones volcánicas o deslaves de cerros (Prieto-Méndez y González-Ramírez et al., 2009). Las altas concentraciones de estos elementos en el suelo, aire y agua son resultado principalmente de actividades antropogénicas como la minería, metalurgia y fundición; aunado a la quema de combustibles fósiles, el uso de fertilizantes o insecticidas en la agricultura, la acumulación e

\*Autor para la correspondencia: [zailaratre04@gmail.com](mailto:zailaratre04@gmail.com)

**Correo electrónico:** [zailaratre04@gmail.com](mailto:zailaratre04@gmail.com) (Zaira Lara-Trejo), [jcgaytan@uaeh.edu.mx](mailto:jcgaytan@uaeh.edu.mx) (Juan Carlos Gaytán-Oyarzún).

**Historial del manuscrito:** recibido el 02/11/2023, última versión-revisada recibida el 14/04/2024, aceptado el 15/04/2024, en línea (postprint) desde el 22/04/2024, publicado el DD/MM/AAAA. **DOI:** <https://doi.org/10.29057/icbi.v12i24.12021>



incineración de residuos sólidos peligrosos como baterías y aparatos eléctricos, por mencionar algunos. Se asocian a infinidad de efectos físicos como dolores crónicos, problemas sanguíneos, daño reproductivo y cáncer; así como a efectos psíquicos y neurológicos, como ansiedad, pasividad, neuralgias, pérdida de memoria, entre otros (Nava-Ruiz y Méndez-Armenta, 2011).

A nivel mundial han existido diversos accidentes ambientales que han contaminado las matrices ambientales, matando a miles de personas, incluyendo las cadenas tróficas a las que el mismo ser humano está expuesto (Tabla 1), de los cuales se ha aprendido y se ha sustentado cada vez más en las normas de uso, manejo, exposición e incluso liberación ambiental de estos compuestos (Londoño-Franco et al., 2016).

Tabla 1: Accidentes por intoxicaciones por metales pesados y metaloides (Londoño-Franco et al., 2016).

| Año  | Sitio                                 | Caso   | No. de muertos | No. de heridos y/o afectados |
|------|---------------------------------------|--|----------------|------------------------------|
| 1900 | Manchester, Inglaterra.               | Arsénico en la cerveza.  | 70             | 6.000                        |
| 1945 | Japón                                 | Intoxicación masiva con cadmio, por consumo de arroz y agua contaminada. | 300            | >1.000                       |
| 1960 | Tailandia, India, Bangladesh, Taiwán. | Uso de aguas subterráneas para agricultura contaminada con arsénico.     | —              | >70 millones                 |
| 1960 | Bahía Minamata, Japón.                | Peces contaminados con metilmercurio.                                    | 3.000          | >10.000                      |
| 1968 | Irak                                  | Contaminación organomercurial en pan (cereales).                         | 500            | >5.000                       |
| 1970 | Japón                                 | Enfermedad de osteoartritis por cadmio.                                  | 300            | 7.000                        |
| 1975 | Estados Unidos                        | Niños intoxicados por pinturas con plomo.                                | 200            | 800 con daño cerebral.       |
| 1984 | Bhopal, India.                        | Fuga de metil isocianato   | >2.500         | >10.000                      |

## 2. Situación actual en México

En México, al igual que en otras partes del mundo, la contaminación por metales pesados y metaloides no deja de ser una problemática contemporánea, dado que proviene de fuentes antropogénicas con gran valor en el país, como la minería y la agricultura. Por esta razón, en los últimos años se han realizado investigaciones que tienen como objetivo identificar la presencia de estos elementos en el ambiente y en la biota para conocer el diagnóstico de la situación ambiental y su evaluación de riesgos a la salud (Covarrubias y Peña-Cabriales, 2017).

De acuerdo con Covarrubias y Peña-Cabriales (2017), en el país hay reportes de concentraciones de metales pesados y metaloides en ríos, lagos, cultivos, suelos, aire, zonas urbanas, así como en ambientes costeros y marinos; esto quiere decir que están presentes en las tres matrices ambientales: agua, aire y suelo (Tabla 2).

Por lo tanto, es importante mencionar que existen múltiples evidencias de que los metales pesados y metaloides son una problemática ambiental en México y en el resto del mundo. La presencia de estos compuestos a concentraciones por encima de los valores permitidos en las Normas Ambientales nacionales e internacionales vulneran el equilibrio ecológico y se vuelven una amenaza para la salud pública y alimentaria en zonas urbanas y rurales.

## 3. Problemática ambiental en el estado de Hidalgo, México

A pesar de que el estado de Hidalgo es un territorio que está conformado por varias zonas rurales que parecieran estar lejos de un ambiente contaminado, realmente no están exentas de las situaciones que pudieran vulnerar a la población y a la biota. A lo largo de los años, Hidalgo ha formado parte de la

transformación económica, social y política de nuestro país, incrementado la vulnerabilidad a los estragos de la urbanización.

Tabla 2: Ejemplo de estudios en México sobre la presencia de MMIT (Modificado de Villalba-Atondo y Castillo-Alarcón et al., 2012; Covarrubias y Peña-Cabriales, 2017; Cruz-Campas y Gómez-Álvarez et al., 2017).

| Lugares  | Matriz | Causa   | MMIT   |
|--|--------|---|--|
| Agua Prieta, Sonora.   | Agua   | Descarga de aguas residuales de la empresa textilera Alstyle y de la Central Termodinámica perteneciente a la Comisión Federal de Electricidad. | Arsénico (As), cadmio (Cd), níquel (Ni)                                      |
| Zacatecas, San Luis Potosí, Guerrero, Hidalgo y Sonora.                      | Suelo  | Actividad minera y jales mineros.   | Mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb) y cromo (Cr)                        |
| Sonora: Agua Prieta, Nogales, Puerto Peñasco, Hermosillo, Guaynás y Obregón. | Aire   | Actividades relacionadas con la quema de hidrocarburos y residuos sólidos peligrosos.   | Arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni), cobre (Cu) y cromo (Cr) |

#### 4. Problemática ambiental en el estado de Hidalgo, México

A pesar de que el estado de Hidalgo es un territorio que está conformado por varias zonas rurales que parecieran estar lejos de un ambiente contaminado, realmente no están exentas de las situaciones que pudieran vulnerar a la población y a la biota. A lo largo de los años, Hidalgo ha formado parte de la transformación económica, social y política de nuestro país, incrementado la vulnerabilidad a los estragos de la urbanización.

El presente trabajo se enfoca en identificar y evidenciar a los MMIT como un grupo importante de contaminantes ambientales presentes en diversas matrices ambientales e incluso en alimentos en el Estado de Hidalgo, México; debido a la presencia de fuentes naturales y antrópicas de estos elementos en la zona de estudio que ponen de manifiesto su origen, peligrosidad y potencial de riesgo a la salud.

#### 5. Fuentes de contaminación de metales pesados y metaloides en Hidalgo

El origen natural de los MMIT en el ambiente es característico del estado de Hidalgo, debido a que hay zonas como Zimapán, en donde el agua de consumo humano y de uso

para actividades agropecuarias está contaminada por As y otros metales de interés toxicológico como Cd y Cr, debido a la interacción de mantos acuíferos con yacimientos minerales, lixiviación y percolación de residuos mineros, agrícolas e industriales, con un cierto contenido de metales de interés toxicológico (Sánchez-Olivares y Gaytán-Oyarzun et al., 2021)

En cuanto al origen antropogénico de los MMIT en el estado de Hidalgo, estas se pueden deber a cuestiones situacionales y/o conductuales, como actividades laborales, sociales, por uso de autotransportes, malas prácticas como la quema de pastos y residuos sólidos peligrosos, entre otros (Tablas 3 y 4). Dentro de algunas de las actividades primarias humanas más importantes en Hidalgo y que se relaciona con el origen y concentración de MMIT en el ambiente están la minería como una actividad que se ha llevado a cabo por más de 400 años, las actividades agropecuarias y la acuacultura que pese a su importancia económica son grandes fuentes de contaminación (Servicio Geológico Mexicano, 2021). Por lo tanto, se ha consolidado que los MMIT se encuentran presentes en nuestra vida cotidiana; en el agua que se utiliza para los cultivos, en alimentos, plantas, animales, lugares que frecuentamos y en el aire de zonas rurales y urbanas.

Tabla 3: Cuestiones situacionales que contribuyen a contaminación de metales y metaloides de interés toxicológico (MMIT) en Hidalgo, México (Modificado del Gobierno del estado de Hidalgo, 2021).

|                   | Situación  | Metal o metaloide   |
|-------------------|--|---|
| Laboral           | Cementeras, plantas de energía eléctrica, pavimentación de caminos, refinerías, metalurgia, agricultura (uso de insecticidas), ganadería, industria de fundición, madererías, incineración de residuos industriales. | Arsénico, cobre, cromo, estaño, hierro, mercurio, molibdeno, níquel, manganeso, plomo, uranio, vanadio, zinc  |
| Social            | Quema agrícola, combustión doméstica, aguas residuales, artefactos eléctricos, uso de aditivos, pigmentos y pinturas, quema de madera, residuos municipales, incineración de residuos domésticos, hábito de fumar.   | PM10, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plomo.   |
| Sector transporte | Automotores a gasolina, vehículos a diésel.  | *El sector transporte contribuye a la emisión otros contaminantes:<br>Automotores a gasolina: COV (Compuestos Orgánicos Volátiles), Óxidos de nitrógeno, O <sub>3</sub> .<br>Vehículos a diésel: Óxidos de nitrógeno, PM10, PM2.5 |

Tabla 4: Actividades que contribuyen a contaminación de metales y metaloides de interés toxicológico (MMIT) en Hidalgo, México (Modificado de Servicio Geológico Mexicano, 2021; SADER, 2019).

| Actividad primaria | Municipio   | Metal o metaloide  |
|--------------------|---|--|
| Minería            | Zimapán   | Cobre, neptunio, plata, plomo, zinc                          |
|                    | Pachuca de Soto   | Cobre, oro, plata, plomo, zinc.<br>Manganeso.                |
|                    | Molango de Escamilla<br>Nicolás Flores  | Cobre, hierro, oro, plata, plomo, zinc.                      |
| Agricultura        | Actopan, El Arenal, Atotonilco El Grande, Chapantongo, Chilcuautla, Cuautepec de Hinojosa, Francisco I. Madero, Huasca de Ocampo, Huichapan, Huautla, Huehuetla, Huejutla de Reyes, Ixmiquilpan, Jacala de Ledezma, Metepec, Mixquiahuala, Nopala, San Felipe Orizatlán, San Salvador, Santiago de Anaya, Tezontepec de Aldama, Tlanchinol, Tula de Allende, Tulancingo de Bravo. | Arsénico, cadmio, cromo, manganeso, mercurio, níquel, plomo. |

|             |  |  |
|-------------|--|--|
| Ganadería   | Apan, Tulancingo de Bravo, Tizayuca, Actopan, Ixmiquilpan          | Arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, zinc. |
| Acuacultura | Zimapán, Tezontepec de Aldama, Mineral del Chico, Huasca de Ocampo | Arsénico, cobre, cromo, níquel, plomo.       |

## 6. Ejemplo de matrices ambientales y concentraciones reportadas de MMIT

### 5.1 Agua

El agua es un recurso indispensable que con el paso de los años se ha visto afectado severamente por no garantizar una adecuada gestión y saneamiento de este. Es un recurso importante para la sociedad porque permite el desarrollo, la permanencia de la vida humana y de la biodiversidad, por lo cual, es un elemento que impacta en la salud, nutrición y economía (SEMARNAT, 2023).

En Hidalgo, los metales pesados y metaloides contribuyen a la contaminación de los recursos hídricos, poniendo en riesgo la salud humana, por ejemplo, en el Valle del Mezquital la población se ve afectada por el uso y consumo de aguas residuales que contienen residuos industriales, agropecuarios y de hogar en donde resalta la presencia de MMIT, pesticidas e hidrocarburos; provocando enfermedades parasitarias, y gastrointestinales, tóxicas y cancerígenas, entre otras, por la cantidad de agentes químicos peligrosos presentes en el agua (García-Salazar, 2020).

Otro ejemplo es el agua de Zimapán, Hidalgo, que es de consumo humano y de uso para actividades agropecuarias, la cual está contaminada por As principalmente, pero existen varios reportes con otros MMIT como Pb, Cd y Cr de interés toxicológico (Tabla 5), que se pueden asociar a yacimientos minerales y a actividades antropogénicas, y en algunos casos están por encima de las NOMs permitidas (Sánchez-Olivares y Gaytán-Oyarzun et al., 2021).

En otros ejemplos, el río Tula en Tula de Allende y el río de la Avenidas en Pachuca de Soto se caracterizan por presentar MMIT, entre otros contaminantes, debido a que transportan aguas residuales, de origen doméstico, industrial y de actividades agropecuarias; en algunos casos se ha evidenciado que se mueven de los cuerpos de agua originalmente contaminados a aguas subterráneas y/o campos de cultivo como el caso en donde CONAGUA (2018) reportó que en los pozos “El Torrión” y “General Pedro María Anaya” en Tula de Allende Hidalgo al norte de la presa Endho se detectaron altos niveles de As, Pb y Hg (Cabañas, 2023).

Tabla 5: Concentraciones reportadas en agua en Zimapán, Hidalgo.

| Sitio  | Concentraciones reportadas            | Referencia                                     |
|--|---------------------------------------|--|
| Zimapán, Hidalgo   | <b>Pb:</b><br>0.5156 mg/L             | Macedo-Cruz y Villegas-Romero et al., 2017     |
| Jales en Zimapán, Hidalgo  | <b>As:</b><br>0.055 hasta 0.2371 mg/L | Armienta y Rodríguez, 1996                     |
| Pozo Muhi en Zimapán, Hidalgo  | <b>As:</b><br>0.30 mg/L               |  |
| Pozo Detzaní en Zimapán, Hidalgo   | <b>As:</b><br>0.48 a 0.746 mg/L       |  |
| Planta potabilizadora Dra. María Aurora Armienta Rodríguez ubicada en el pozo el Muhí. En Zimapán, Hidalgo | <b>Cr</b><br>0.1 mg/L.                | Sánchez-Olivares y Gaytán-Oyarzun et al., 2021 |
| Pozos de agua potable en Zimapán, Hidalgo  | <b>As:</b><br>70 mg/L                 | Pérez- Moreno, 2004                            |

### 5.2 Suelo

El suelo es un recurso que contribuye al sustento de la vida; ayuda a mantener los ecosistemas porque en el se llevan a cabo procesos biogeoquímicos, contiene nutrientes que son utilizados por plantas y animales, además de albergar a miles de microorganismos.

De acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (2020), Hidalgo es uno de los estados en donde más se desarrolla la actividad minera. Actualmente tiene el primer lugar en

producción de Mn, aunque también se realizan extracciones de Au, Ag y Pb. En los últimos años las extracciones de Zn han ido aumentando cada vez más.

Las regiones mineras más destacadas de este estado son Zimapán, Pachuca de Soto, Actopan, Jacala de Ledesma y Molango de Escamilla.

En el 2007, se realizó un estudio de los cultivos del Valle del Mezquital colectando muestras de nopal, maguey, habas y maíz; se detectó que hay una elevada concentración de Cr en

suelo y también se detectó Pb en todas las muestras, lo cual corresponde a la presencia de este elemento en los suelos de Actopan, Francisco Villa, Lagunilla y en el poblado de Ixmiquilpan la presencia de Pb se observó particularmente en pulpas y cortezas de magueyes (Prieto-García y Méndez-Marzo et al., 2007) (Tabla 6).

En 2018, se evaluó la contaminación de suelo por metales pesados en 12 sitios de Pachuca de Soto, exponiendo la gran

influencia de la urbanización en los suelos de esta zona por la generación de basura, desechos urbanos e industriales, así como residuos de la actividad minera (jales) que provocan cambios en sus características fisicoquímicas y biológicas, afectando la salud de la biota que lo conforma y de los seres vivos a los que se asocia. El estudio indicó que existen metales tales como Cr y Cu que están presentes por las actividades de construcción. Apesar de que hubo presencia de Hg y As, estas no exceden las establecidas en las NOMs, aunque sí las internacionales (Pérez-Segovia, 2018).

Tabla 6: Concentraciones reportadas en suelo y en la biota en Hidalgo.

| Sitio   | Concentraciones reportadas           | Referencia                                    |
|---|--------------------------------------|---|
| Pulpa de nopales de Actopan, Hidalgo  | <b>Pb:</b><br>23.71 mg/kg            | Prieto-García y Méndez-Marzo et al., 2007     |
|   | <b>Cr:</b><br>7.63 mg/kg             |   |
| Pulpa de magueyes de Lagunilla, Hidalgo   | <b>Pb:</b><br>22.86 mg/kg            | Pérez-Segovia, 2018                           |
| Corteza de magueyes de Lagunilla, Hidalgo   | <b>Pb:</b><br>29.58 mg/kg            |   |
| Suelos de Pachuca, Hidalgo  | <b>Cr:</b><br>77.46 mg/kg            |   |
| Suelo agrícola en La Reserva de la Biosfera de Metztitlán                           | <b>Cd:</b><br>31.82 mg/kg            |   |
|   | <b>Mn:</b><br>391.26 mg/kg           | González-Salazar y López-Herrera et al., 2015 |
|   | <b>Ni:</b><br>51.89 mg/kg            |   |
|   | <b>Pb:</b><br>61.11 mg/kg            |   |
| Plantas de Higuierilla en suelo agrícola en La Reserva de la Biosfera de Metztitlán | <b>Cd (en hoja):</b><br>23.55 mg/kg  |   |
|   | <b>Mn (en raíz):</b><br>233.86 mg/kg |   |
|   | <b>Ni (en raíz):</b><br>30.53 mg/kg  |   |
|   | <b>Pb (en tallo):</b><br>71.19 mg/kg |   |
| Lixiviado de Jales en Pachuca de Soto, Hidalgo.                                     | <b>As:</b><br>0.0198 mg/L            | Mendoza-Velasco, 2023                         |
|   | <b>Cd</b><br><0.1 mg/L               |   |
|   | <b>Cr:</b><br><02 mg/L               |   |
|   | <b>Hg:</b><br>0.0006 mg/L            |   |
| Distrito de Riego 03, Tula, Hidalgo, México.  | <b>Cd:</b><br>1.4 mg/kg              | Domínguez-Islas, 2021                         |
|   | <b>Pb:</b><br>12.8 mg/kg             |   |
|   | <b>Cr:</b><br>10.7 mg/kg             |   |
| Suelos  | <b>Cd:</b><br>0.07 mg/kg             | Lara-Viveros y Ventura-Maza et al., 2015      |
|   | <b>Pb:</b><br>0.40 mg/kg             |   |

### 5.3 Aire

Una buena o mala calidad de aire determina el grado de exposición a compuestos tóxicos y su influencia en problemáticas ambientales, por ello a nivel mundial los seres vivos también sufren daños a la salud por la contaminación del aire (OMS, 2023).

Como se mencionó anteriormente, el Estado de Hidalgo es una zona que ha tenido un gran desarrollo urbano e industrial, como la zona conurbada de Pachuca de Soto, la ciudad de Tulancingo, Mineral de la Reforma, Apan, Actopan y Tula de Allende, por mencionar algunos (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2023) por ello, ha incrementado la posibilidad de que cada una de las matrices ambientales sufra algún deterioro. El aire es una de las más afectadas debido a la quema de combustibles fósiles y residuos industriales, entre otros. Existen casos como el de la Refinería “Miguel Hidalgo” en Tula de Allende, perteneciente a la empresa PEMEX, una de las compañías que arroja mayores contaminantes al ambiente, así como la central termoeléctrica “Francisco Pérez Ríos” de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y cementeras Holcim-Apasco, Cemex, Lafarge Cruz. Particularmente, la Refinería “Miguel Hidalgo” incrementa las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), mayormente dióxido de azufre, así como partículas en suspensión en donde se encuentran MMIT y otras sustancias como compuestos orgánicos persistentes (COP) e hidrocarburos aromáticos policíclicos que resultan ser mutágenos y cancerígenos (García-Salazar, 2020).

De acuerdo con la página The Weather Channel (2023), actualmente la calidad del aire en Pachuca de Soto se considera satisfactoria la mayor parte del año y la posibilidad de

contaminación significativa del aire es baja debido a su alta dispersión. Según este sitio web, los principales contaminantes que están presentes en el aire de Pachuca, Hidalgo son: PM2.5 (Partículas en suspensión menores a 2.5 micrómetros), CO (Monóxido de carbono), NO<sub>2</sub> (Dióxido de nitrógeno), O<sub>3</sub> (Ozono), PM10 (Partículas en suspensión menores a 10 micrómetros) y SO<sub>2</sub> (Dióxido de azufre), de las cuales ninguna representa un peligro, puesto que se considera que están en un nivel “bueno”. La página web AQI (2023) (Índice de calidad del aire), una herramienta que pronostica los niveles de contaminación y afectaciones a la salud, muestra los mismos resultados que The Weather Channel, a excepción del CO, cuyo nivel está marcado como “malo” o “insano”.

Ahora bien, en el año 2021 se actualizó el Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire del Estado de Hidalgo guiado por el Gobierno del Estado y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de Hidalgo, llamado “ProAire Hidalgo”, debido al aumento poblacional y la alta tasa vehicular, cuya acción se plantea del año 2021-2030 (Tabla 7). En este proyecto se establecen medidas, acciones y metas para lograr una disminución de las emisiones de los contaminantes atmosféricos. Simultáneamente, se reúne información de la evaluación del cumplimiento de las NOM de la calidad de aire entre 2016-2020 para los siguientes contaminantes: O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, así como, partículas precipitables (PM10) y partículas en suspensión (PM2.5), ambas con alto contenido de MMIT, en estaciones que pertenecen al SIMAEH (Sistema de Monitoreo Atmosférico del Estado de Hidalgo), en donde están las siguientes ciudades: Pachuca de Soto, Tula de Allende, Atitalaquia, Atotonilco de Tula, Tepeji del Río de Ocampo, Tizayuca, Huichapan, Tulancingo de Bravo y Tepeapulco.

Tabla 7: Concentraciones de contaminantes en el SIMAEH entre 2016-2020 (Modificado del Gobierno del Estado de Hidalgo, 2021).

| Contaminante    | Municipio y año           | Concentraciones  | Nota   |
|-----------------|---------------------------|--|--|
| PM10            | Atitalaquia y Atotonilco. | 173 µg/m <sup>3</sup> (para ambos)                                     | *Se incumple en todas las estaciones, principalmente en: Atitalaquia y Atotonilco.   |
| PM2.5           | Atotonilco y Atitalaquia  | Atotonilco: 106 µg/m <sup>3</sup><br>Atitalaquia: 99 µg/m <sup>3</sup> | *Se incumple, principalmente en: Atitalaquia y Atotonilco. En algunas estaciones no pudo hacerse el registro por falta de información. |
| O <sub>3</sub>  | Pachuca de Soto           | En 2016: 0.162 ppm<br>En 2019: 0.144 ppm                               | *Se incumple en todas las estaciones, principalmente en la zona del Rehilete de Pachuca de Soto,                                       |
| SO <sub>2</sub> | Tula de Allende           | En 2016: 0.201 ppm<br>En 2017: 0.258 ppm                               | *Solo se incumple en Tula de Allende.  |
| NO <sub>2</sub> | --                        | --   | *Se cumple el límite en todas las estaciones.  |
| CO              | --                        | --   | *Se cumple el límite en todas las estaciones.  |

En The Weather Channel y en los reportes de calidad del aire en Hidalgo (AQUI, 2023), los resultados son generalizados y monitoreados cada 24 hrs., en donde el principal contaminante problemático es el CO. Sin embargo, en el programa ProAire 2021 los resultados son de años pasados y específicos de algunos municipios, dejando ver que la principal problemática son en realidad las PM10, las cuales son una mezcla de

partículas como metales y metaloides, gases y compuestos orgánicos volátiles y persistentes. Los antecedentes muestran que, aunque existen investigaciones y registros sobre la contaminación del aire en el estado de Hidalgo, son muy pocos e incluso escasos los estudios los MMIT y a pesar de que se mencionan las PM10, no hay registro de información específica sobre su composición.

Debido a las actividades antropogénicas que se realizan en los municipios, el alto crecimiento poblacional, y el tipo de contaminantes que están presentes en las zonas atmosféricas del estado, se vuelve fundamental que se realicen investigaciones que ayuden a revelar las concentraciones de los MMIT en zonas urbanas y rurales del estado de Hidalgo y que se sustenten tomas de decisiones para minimizar su presencia ambiental y el potencial de riesgo a la salud.

## 7. Contaminación en alimentos

A raíz de la contaminación de las matrices ambientales es muy probable que la seguridad alimentaria se vea comprometida y genere efectos dañinos sobre la salud humana por consumo de alimentos contaminados, por ello es importante contemplar en el presente trabajo una revisión sobre la contaminación de los alimentos independientemente de la zona de estudio, sobretodo porque en las principales ciudades del estado el origen de los alimentos no es totalmente local.

Al estar presentes MMIT y otros contaminantes en el agua, aire y suelo pueden ingresar a sistemas biológicos (biodisponibilidad) y dependiendo de sus propiedades físico-químicas pueden bioacumularse en plantas y hongos, así como en tejidos, órganos y secreciones de animales como carne, leche y huevo entre otros. Esto propicia que estén en los seres humanos y en otros seres vivos porque están expuestos vía alimenticia a estos elementos y a otros contaminantes.

Según Guzmán-Pinilla (2017), las sustancias tóxicas más comunes en alimentos son el Hg, As, Pb, dioxinas, pesticidas, bisfenol, hormonas, BHA y BHT (conservadores), nitritos/nitratos de sodio y bromato de potasio (Tabla 8).

Tabla 8. Metales pesados y metaloides presentes en alimentos (Lozada-Zarate y Monks et al., 2006; Guzmán-Pinilla, 2017, de Lucio-Flores y Otazo-Sánchez et al., 2021).

| Metal o metaloide | Alimentos en los que está presente    | Efectos   |
|-------------------|---------------------------------------|---|
| Arsénico          | Jugos de manzana, frutas, hortalizas. | Cáncer de piel, vejiga, pulmón y problemas cardíacos.   |
| Mercurio          | Latas de atún, salmón.                | Riesgos para recién nacidos y afectaciones en el sistema nervioso y desarrollo del cerebro (crónico).   |
| Plomo             | Arroz                                 | Afecta sobre el desarrollo normal del cerebro de los niños.   |
| Aluminio y plomo  | Carpa                                 | Plomo: Induce anemia, efectos neurológicos (daño al sistema nervioso central).<br>Aluminio: Problemas respiratorios, enfermedad en los riñones. |

| Al, Ni, Ar, Cd, Cu, Cr, Zn, Hg y Pb entre otros | Hongos macromicetos comestibles | En humano se asocian a infinidad de efectos físicos (dolores crónicos, problemas sanguíneos, daño reproductivo, hepatotoxicidad, nefrotoxicidad, daño teratogénico, cáncer, así como conductuales y neurológicos (ansiedad, pasividad, neuralgias, pérdida de memoria, etc.). |
|---|---------------------------------|---|
|---|---------------------------------|---|

Por los reportes de metales y metaloides en Hidalgo, es evidente que los alimentos provenientes de las principales actividades como la pesca, acuicultura, agricultura y ganadería pueden presentar cierto grado de contaminación por MMIT (Tabla 9). La minería es una de las actividades más importantes y que es señalada como una fuente de contaminación para los alimentos como hongos, vegetales y animales. Uno de los sectores con mayor afectación por ser considerado un distrito minero es Zimapán, debido a su actividad de más de doscientos años. En este municipio se han reportado altas concentraciones de arsénico (Covarrubias y Peña-Cabriales, 2017).

Tabla 9: Ejemplo de especies de plantas acumuladoras de metales pesados y metaloides en Hidalgo, México (Modificado de Covarrubias y Peña-Cabriales, 2017).

| Especie                        | Metal o metaloide | Lugar   |
|--------------------------------|-------------------|---------|
| <i>Prosopis laevigata</i>      | Arsénico          | Zimapán |
| <i>Acacia farnesiana</i>       | Arsénico          | Zimapán |
| <i>Solanum corymbosum</i>      | Cobre             | Pachuca |
| <i>Brickelia veronicifolia</i> | Plomo y zinc      | Pachuca |
| <i>Atriplex suberecta</i>      | Cadmio            | Pachuca |
| <i>Cynodon dactylon</i>        | Manganeso         | Pachuca |
| <i>Bouteloua curtipendula</i>  | Níquel            | Pachuca |

## 8. Discusión

No todos los metales y metaloides son necesariamente peligrosos, algunos son esenciales en el funcionamiento del organismo de los seres vivos y están presentes en el ambiente como elementos importantes en la nutrición vegetal; comienzan a tornarse peligrosos cuando las concentraciones a las que estamos expuestos sobrepasan límites permisibles por las Normas Oficiales, además del grado y tiempo de exposición y características como su capacidad de bioacumulación, biodisponibilidad, permanencia, movilidad en el ambiente y su incapacidad para degradarse, causando efectos adversos en la calidad del ambiente y, por ende, en la salud pública y alimentaria.

Tal como se puede ver en la revisión bibliográfica, los MMIT identificados en el estado de Hidalgo son el As, Cd, Cr, Hg y Pb dado que se mencionan en la mayoría de estudios, casos y lugares identificados como posibles fuentes de contaminación.

Se puede observar que existen cuatro principales actividades que aumentan el grado de contaminación por metales pesados y metaloides; la minería, agricultura, ganadería y las grandes industrias, por lo tanto la problemática se puede asociar a ambientes urbanos, rurales industriales e incluso mixtos.

La *minería* es una de las actividades con mayor impacto en la economía del estado y en el ambiente por los residuos que genera, además de ser una práctica milenaria en el estado, convirtiéndose en una fuente importante de contaminación de agua, por su uso y desecho en otros suministros. El uso de aguas residuales contamina los suelos usados para el cultivo de alimentos; además, deja desechos de minerales a los que llamamos “jales mineros” cuya erosión puede contaminar el aire, agua y suelo.

La *agricultura* es otra de las actividades que se lleva a cabo en la mayoría de los municipios del estado de Hidalgo. El uso de pesticidas y fertilizantes aumenta la contaminación en suelos y algunos de estos compuestos contienen MMIT; así mismo, el uso de aguas residuales como agua de riego provoca la propagación de contaminantes en los alimentos cultivados.

La *ganadería* por su parte, es muy común en el estado, siendo otra fuente importante de ingresos para las familias, sin embargo, el uso de suplementos, la dieta usada para la engorda de los animales y el agua contaminada que pueden llegar a ingerir también contiene MMIT y otros contaminantes que contribuyen a la contaminación de los alimentos resultantes de esta actividad, provocando graves problemas de salud.

Las *grandes industrias* cementeras y refinerías son las mayores fuentes de contaminación de agua, suelo y aire que existen en Hidalgo; no solo provocan la degradación ambiental y ponen en riesgo la salubridad del lugar en donde están establecidas, sino que perjudican zonas rurales en donde el uso de aguas contaminadas por MMIT ha llevado en aumento el número de la población con efectos negativos en la salud.

Asimismo, existen actividades cotidianas como fumar, ingerir bebidas alcohólicas, el desecho e incineración de residuos domésticos o el hecho de trabajar cerca o en zonas contaminadas que aumentan el riesgo exposición MMIT y de sufrir efectos en la salud por la exposición a estos componentes.

En Hidalgo hay estudios que demuestran la presencia de metales y/o metaloides en agua y suelo, aunque aún no existen estudios directos sobre la presencia de estos compuestos en el aire, ya que los únicos registros que se pueden encontrar son, por ejemplo, sobre PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, CO o SO<sub>2</sub> y no se enfocan en las concentraciones de MMIT. Por este motivo, deberíamos dirigir una mayor atención a las zonas atmosféricas de áreas rurales y urbanas para actuar ante posibles efectos adversos.

Debido al gran impacto de estos componentes, es necesario emplear herramientas que ayuden a la identificación y caracterización del peligro, exposición y efectos. Esto surge de la premisa de que la presencia de un compuesto tóxico en el ambiente genera una situación peligrosa, es decir, que existe la

probabilidad de que exista un daño en la salud asociada a la exposición, bajo ciertas condiciones situacionales y/o ambientales, como es el caso de los MMIT mencionados en el presente trabajo.

Este tipo de instrumentos contribuye al conocimiento preliminar de la evaluación y gestión de riesgos. La Evaluación de Riesgos (ERS), es una metodología recomendada por la USEPA y la ATSDR (SESA, 2016), que predice y describe cómo las acciones humanas influyen en la exposición a compuestos peligrosos, caracterizando su magnitud y los efectos nocivos en humanos. La ERS es una herramienta para caracterizar cualitativamente y cuantitativamente los impactos a la salud, ayuda a fundamentar mejor la evidencia científica y a tomar decisiones sobre cómo evitar o reducir el riesgo.

## 9. Conclusión

Los MMIT son compuestos potencialmente peligrosos porque causan desequilibrios en los procesos ecosistémicos, al mismo tiempo que causan efectos dañinos a la salud pública y alimentaria. En Hidalgo, existen estudios que demuestran la presencia de estos agentes químicos en agua y suelo, pero se requiere prestar atención a las zonas atmosféricas que pudieran ser un foco de contaminación, así como en los alimentos contaminados por MMIT y otros contaminantes. También es importante trabajar en la evaluación, comunicación y gestión de riesgos de los metales y/o metaloides que permitirá servir como herramienta para advertir sobre el uso, almacenamiento, manejo y disposición ambiental de estos compuestos, ayudando a la toma de decisiones para prevenir la exposición y efectos ante posibles incidentes.

## Agradecimientos

## Referencias

- AQI. (2023). Principales contaminantes del aire en Hidalgo. Sitio web: <https://www.aqi.in/es/dashboard/Mexico/Hidalgo>
- Armienta, M.A y Rodríguez, R. (1996). Arsénico en el valle de Zimapán (México) Problemática ambiental. *Fundación Mapfre* 68, 33-43.
- Bustamante, J. J., Chaparro, A. L y Peláez, M. J. (2015). Impacto de las actividades antrópicas derivadas de la industria petrolera en relación con la presencia de metales pesados en la ganadería bovina colombiana. *Revista de Toxicología*, 32(2), 127-130.
- Cabañas, C. (2023). Los olvidados de Hidalgo. +Focus. Sitio web: <https://investigaciones.nmas.com.mx/los-olvidados-de-hidalgo/>
- Covarrubias, S. A y Peña-Cabriales, J. 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. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Cruz-Campas, M. E., Gómez-Álvarez, A., Ramírez-Leal, R., Villalba-Villalba, A. G., Monge-Amaya, O., Varela-Salazar, J., Quiroz-Castillo, J. M y Duarte-Tagles, H. F. (2017). Calidad del aire respecto de metales (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) y su relación con salud respiratoria: Caso Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33 (Especial sobre Ingeniería Ambiental), 23-34. DOI: <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp02.02>
- Domínguez-Islas, A. L. (2021). Análisis de fertilidad del suelo para el cultivo de alfalfa en el distrito de riego 0003 Tula, en el Estado de Hidalgo. *Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas*, México.
- García-Salazar, H. (2020). Refinería “Miguel Hidalgo” de Tula, una fuente de contaminación con mucha compañía. *El Economista*. Sitio web: <https://www.economista.com.mx/politica/Refineria-Miguel-Hidalgo-de->

- Tula-una-fuente-de-contaminacion-con-mucha-compania-20200816-0005.html
- González-Salazar, I. G., López-Herrera, M., Monks, S y Pulido-Flores, G. (2015). Presencia de metales pesados en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán, Hidalgo, México. *Estudios en Biodiversidad*, 13, 151-153.
- Guzmán-Pinilla, J. (2017). Las 10 sustancias tóxicas más comunes en los alimentos. *La República*. Sitio web: <https://www.larepublica.co/consumo/las-10-sustancias-toxicas-mas-comunes-en-los-alimentos-2476781>
- Gobierno del Estado de Hidalgo. (2021). ProAire; Programa de gestión para mejorar la calidad del aire del Estado de Hidalgo. SEMARNAT, Hidalgo.
- Gobierno del Estado de Hidalgo. (2023). Sistema de Información Georreferenciada de Hidalgo: Infografías Municipales. Sitio web: <http://sigeh.hidalgo.gob.mx/pags/mapas/infografias/>
- Lara-Viveros, F. M., Ventura-Maza, A., Ehsan, M., Rodríguez-Ortega, A., Vargas-Monter, J y Landero-Valenzuela, N. (2015). Contenido de Cd y Pb en suelo y plantas de diferentes cultivos irrigados con aguas residuales en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31(2), 127-132.
- Lozada-Zarate, E. J., Monks, S., Pulido-Flores, G., Gordillo-Martínez, A. J y Prieto-García, F. (2006). Determinación de metales pesados en *Cyprinus carpio* en la Laguna de Meztlán, Hidalgo, México. *V Congreso Internacional y el XI Congreso Nacional de Ciencias Ambientales: Primera Edición, D.R. Universidad Autónoma del Estado de Morelos*, 1-9.
- Lucio-Flores, S. A., Otazo-Sánchez, E. M., Romero-Bautista, L y Gaytán-Oyarzun, J. C. (2021). Hongos macroscópicos como bioacumuladores de metales pesados. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI* 8, 60-65. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 8(16), 60-65. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v8i16.5823>
- Nava-Ruíz, C y Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias*, 16(3), 141-147.
- Macedo-Cruz, A., Villegas-Romero, I., Carrillo-González, R y Torres-Bautista, D. (2017). Contaminación por metales pesados de aguas superficiales en la microcuenca de Zimapán, Hidalgo. En: Pérez, F., Figueroa, E., Godínez, L y Rocha, J (eds.), *Ciencias de la Química y Agronomía, Handbook T-I-ECORFAN*, México, 8-15.
- Mendoza-Velasco, A. (2023). Evaluación del potencial de riesgo genotóxico de jales mineros en Pachuca de Soto, Hidalgo. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- OMS. (2023). Contaminación del aire ambiente (exterior). Sitio web: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Pérez-Segovia, A. D. (2018). Evaluación de contaminación de suelo por metales pesados en Pachuca, Hidalgo. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*.
- Prieto-García, F., Méndez-Marzo, M. A., Hernández-Pezima, F. H y PrietoMéndez, J. (2007). Presencia de metales pesados en cultivos del Valle del Mezquital. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 3(2), 100-110.
- Prieto-Méndez, J., González-Ramírez, C. A., Román-Gutiérrez, A. D. y Prieto-García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes del suelo y agua. *Tropical and Subtropical Agrosystems*, 10(1), 29-44.
- SADER. (2019). Programa de concurrencia con las Entidades Federativas. Informe de evaluación 2016-2018. *SADER*, Hidalgo.
- Sánchez-Olivares, M. A., Gaytán-Oyarzun, J. C., Prieto-García, F y Cabrera-Cruz, R. B. E. (2021). Evaluación rápida de potencial de riesgo genotóxico (ERPRG) asociada a metales pesados en agua potable: Caso de estudio Zimapán, Hidalgo, México. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 114-120. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7140>
- SEMARNAT. (2023). Día Mundial del Agua 2023. Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/dia-mundial-del-agua-2023#:~:text=Podemos%20decir%20con%20la%20Unesco,del%20agua%20y%20su%20saneamiento.>
- Servicio Geológico Mexicano. (2021). Panorama Minero del Estado de Hidalgo. Sitio web: <http://www.sgm.gob.mx/pdfs/HIDALGO.pdf>
- SESA. (2016). La evaluación de riesgos en la salud. Guía metodológica. *SESA*, España.
- The Weather Channel. (2023). Calidad del aire-Pachuca, Hidalgo, México. Sitio web: <https://weather.com/es-US/forecast/air-quality/l/Pachuca+Hidalgo+M%C3%A9xico?canonicalCityId=60e7a152f2c6e464eaa91c1a1186743918eed243bf0186abf318a6f623546de7>
- Villalba-Atondo, A. I., Castillo-Alarcón, J. M., Gómez-Álvarez, A., Pérez-Villalba, A. M., Nubes-Ortiz, G., Villalba-Urquidí, S y Salcido-Esquer, A. (2012). Contaminación del agua y suelo en el ecosistema marino Río Agua Prieta, Sonora, México. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*, 15(1), 3-11.