



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2024,
Volumen 8, Número 1.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1

EFFECTOS TÓXICOS Y COMPARACIÓN DE LAS NOM DE METALES PESADOS EN AGUA CON NORMAS INTERNACIONALES

**TOXIC EFFECTS AND COMPARISON OF OFFICIAL
MEXICAN STANDARDS (NOM) FOR HEAVY METAL
CONTENT IN WATER WITH INTERNATIONAL STANDARDS**

María Fernanda Figueroa Sanez
Universidad de Sonora, México

Abraham Rogelio Martín García
Universidad de Sonora, México

Kareen Krizzan Encinas Soto
Universidad de Sonora, México

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9847

Efectos Tóxicos y Comparación de las NOM de Metales Pesados en Agua con Normas Internacionales

María Fernanda Figueroa Sanz¹

a212204479@unison.mx

<https://orcid.org/0009-0002-8847-7948>

Universidad de Sonora

México

Abraham Rogelio Martín García

abraham.martin@unison.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7794-9041>

Universidad de Sonora

México

Kareen Krizzan Encinas Soto

kareen.encinas@unison.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3327-430X>

Universidad de Sonora

México

RESUMEN

La calidad del agua para consumo humano es muy importante para todas las naciones porque afectan significativamente al medio ambiente, en especial a la salud de los seres humanos provocando efectos tóxicos, además de provocar enfermedades. El objetivo de la revisión es hacer un análisis de los efectos y comparar la Normatividad Mexicana con Normas Extranjeras como son the United States Environmental Protection Agency [EPA], Bureau of Indian Standards [BIS], World Health Organization [WHO] y así proponer recomendaciones, por lo que se realizó una revisión exhaustiva de artículos y documentos del contenido de metales en agua para dar las siguientes recomendaciones como: actualización constante de los criterios tomando en cuenta nuevas sustancias tóxicas prioritarias que afecten la salud, además del tiempo de exposición y dosificación.

Palabras clave: plomo, cadmio, normas

¹ Autor principal.

Correspondencia: kareen.encinas@unison.mx

Toxic Effects and Comparison of Official Mexican Standards (NOM) for Heavy Metal Content in Water with International Standards

ABSTRACT

The quality of water for human consumption is of vital importance for all countries in the world, as it significantly affects the environment, especially the health of human beings, causing toxic effects, as well as causing diseases. In accordance with the above, the objective of this review article is to make an analysis of the effects and compare Mexican Regulations with Foreign Standards such as the United States Environmental Protection Agency [EPA], Bureau of Indian Standards [BIS], World Health Organization [WHO] and thus propose recommendations, so an exhaustive review of articles and documents on the content of metals in water was carried out to give the following recommendations such as: Constant updating of the criteria, taking into account new priority toxic substances that affect health, as well as exposure time and dosage.

Keywords: lead, cadmium, rules

*Artículo recibido 27 diciembre 2023
Aceptado para publicación: 30 enero 2024*



INTRODUCCIÓN

Uno de los recursos renovables muy importantes, el cual se debe de preservar debido a que en algún momento se puede restringir su uso es el agua (Cirelli, 2012). El agua es indispensable para todas las sociedades, esto quiere decir que afecta al desarrollo económico en cuestión de actividades socioeconómicas, por lo tanto es un factor que determina si una sociedad es desarrollada (del Valle Melendo, 2017). Además, el uso y consumo del agua es un asunto preocupante y primordial para toda la población, ya que esta estrechamente relacionado con el autocuidado de las personas con la salud e higiene de las personas (Navarrete et al., 2018).

El ingreso de sustancias en los tres estados (sólido, líquido, gas) o su combinación y que alteren o modifiquen negativamente las condiciones ambientales de los cuerpos receptores, además afecten la salud, higiene y bienestar, es lo que se llama contaminación ambiental (Ahmad et al., 2014; Williams & de la Caridad, 2013). En particular los metales pesados tienen una característica muy importante como es una densidad alta ($> 4 \text{ g/cm}^3$), por lo que puede causar efectos tóxicos en el medio ambiente, y esto es causado por las actividades antropogénicas como la industria minero-metalúrgica, producción de pinturas, ya que estos originan este tipo de compuestos tóxicos (Moreno-Rivas & Ramos-Clamont Montfort, 2018; Pabón et al., 2020). Los elementos metálicos cuando están presentes en concentraciones muy bajas, son fundamentales para que se lleven acabo las reacciones tanto bioquímicas y fisiológicas en los organismos vivos. Sin embargo, si se excede de un cierto umbral de concentración, esto provoca un efecto nocivo o tóxico, a casusa de que los metales se unen a sitios de unión de las proteínas y desplazan a los metales esenciales, teniendo como consecuencia es el mal funcionamiento de las células (Flora et al., 2008; Jaishankar, Mathew, et al., 2014; Jaishankar, Tseten, et al., 2014; Nagajyoti et al., 2010).

Los metales pesados se clasifican dentro de los contaminantes inorgánicos, asimismo, normalmente se detectan concentraciones demasiado bajas de este tipo de sustancias en aguas naturales, sin embargo, estos elementos son muy tóxicos (Sharma et al., 2021), de tal forma que se ve afectada la calidad del agua, la cual tiene como objetivo de determinar la concentración máxima de los elementos del agua, ya que puede ser un peligro para la salud de la población y pueden dañar las tuberías de los sistemas de abastecimiento (Pérez-López, 2016).

Plomo y Cadmio

En especial, la exposición a niveles altos de plomo (Pb) tiene efectos en los sistemas nervioso, inmunológico, reproductivo y cardiovascular, además la toxicidad aguda tiene manifestaciones clínicas como insuficiencia renal, encefalopatía y síntomas gastrointestinales. Por otro lado, el cadmio (Cd) puede afectar a los órganos como el pulmón, hígado, riñón, placenta y testículos (Azcona-Cruz et al., 2015; Martínez Flores et al., 2013).

Las normas que regulan las concentraciones de metales pesados en el agua para su consumo y utilización, tienen como objetivo determinar la calidad del agua, esto quiere decir que el consumidor utilice agua inocua, la cual este libre de contaminantes que puedan afectar la salud.

La finalidad de la revisión es hacer un análisis y comparar la Norma Oficial Mexicana (NOM) que regula el contenido de metales pesados en el agua para consumo con normas extranjeras, además de proponer recomendaciones para mejorar los criterios.

METODOLOGÍA

El presente artículo es una revisión sobre las Normas Mexicanas y Extranjeras en lo que respecta al contenido de metales pesados en el agua para consumo humano. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva de artículos y documentos, por lo que se utilizó principalmente la base de datos de google académico y páginas de las agencias gubernamentales Mexicanas y extranjeras. La búsqueda de información se realizó de la siguiente manera, escribiendo palabras como: guidelines quality heavy metal in water, “Bureau of Indian Standards”, “the US Environmental Protection Agency”, “World Health Organization”, Norma Oficial Mexicana.

Los criterios de inclusión que se utilizaron fueron los siguientes: artículos sobre efectos tóxicos de los metales en la salud y medio ambiente, documentos que incluyan los límites permisibles con respecto a metales de organizaciones extranjeras. Realizamos un resumen que mencionara los principales efectos nocivos para la salud y el medio ambiente utilizando los artículos y documentos más importantes, por último se hizo la comparación de los Límites máximos permisibles (LMP) de la NOM con las Normas Extranjeras para dar recomendaciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La corteza terrestre está conformada principalmente por minerales, sales y otros compuestos, los cuales contienen metales pesados, además no se pueden degradar de forma natural o por medio de la microbiota, ya que no cumplen con una función específica en las reacciones metabólicas de las plantas, animales y seres humanos (Abollino et al., 2002; Méndez et al., 2009). Asimismo, las diferentes actividades económicas han generado este tipo de contaminantes inorgánicos que han afectado al ambiente en especial suelo, aire, agua. De igual manera, la utilización de metales en la industria, actividades agrícolas, domésticas y tecnológicas, han causado que el ser humano tenga una mayor exposición a estos (Bradl, 2002; Paul et al., 2012), debido a esto, se han observado los efectos tóxicos en la naturaleza y en la salud de los seres vivos.

Efectos tóxicos en el medio ambiente (Suelo, plantas, agua)

La formación del suelo se ve influenciado por cinco factores, los cuales son: los microorganismos, el clima, el tiempo, el relieve y la roca madre o materia parental, por lo que está conformado por minerales, lo cual es lo más abundante, además contiene agua, aire y materia orgánica, la cual está conformada por los restos de vegetales, animales y microorganismos (Arias et al., 2018).

La toxicidad de los metales en el suelo dependen de las características de este, ya que pueden aumentar o reducir la disponibilidad de los metales, por lo que pueden acumularse en la superficie y por consiguiente están accesibles a las raíces de los cultivos (Baird, 1999; Puga et al., 2006). Por otra parte, Páez *et al.* (1995) describe en su trabajo que los organismos expuestos a metales pesados tienden a acumular concentraciones mayores de metales pesados en los tejidos a los que se encuentran en el medio ambiente (Páez-Osuna et al., 1995).

Los metales pesados pueden entrar a la cadena alimenticia por medio de las plantas, debido a la absorción y acumulación, que dependen del movimiento de las especies que se encuentran en el medio hasta las raíces de la planta (Kabata-Pendias, 2000). Así mismo, cuando la concentración de los iones metálicos en el suelo rebasan las concentraciones máximas aceptables tienen como consecuencia efectos tóxicos como el retraso del crecimiento y adecuado desarrollo de la planta, también se ven afectados los microorganismos, ya que disminuye la población de la microbiota (Martin, 2000; Méndez et al., 2009).

Las afectaciones que tiene el consumo de agua con metales en especial los peces se ven manifestadas en el crecimiento, funciones fisiológicas, en la reproducción y mortalidad, así mismo, el ingreso de estos contaminantes puede ser por medio del aparato digestivo, respiratorio y tegumentario. Entre los metales que son mas tóxicos para los animales y el ambiente, son el As, Pb, Hg, y Cd (Ali & Us Sa, 2014; Pandey & Madhuri, 2014; Tomaila & Iannacone, 2018).

El consumo de agua con metales disueltos propicia a que se absorban mejor que con el consumo de alimentos, por lo que la toxicidad de los metales es mayor y pueden causar diversas enfermedades en los seres humanos (Islam et al., 2014).

Diversos estudios han reportado la contaminación por metales en suelo, agua y plantas como los siguientes casos de estudio. En el 2022, Montes de Oca *et al.*, determinaron las concentraciones de Pb en pasto, agua, suelo en el Estado de México, en especial en localidades del Valle de Lerma y obtuvieron niveles promedio de plomo en agua (0.2 - 3.7 mg/L), suelo (4.7 - 108.9 mg/kg) y pasto (1.4 – 97.46 mg/kg), por lo que mencionaron que más del 50 % de las muestras (257 muestras) sobrepasan las concentraciones permisibles que indica la NOM-001-ECOL-1996, donde el límite permisible para el plomo en agua de ríos, naturales, potable y para riego agrícola es 0.5 mg/L, 0.0015 mg/L, 0.05 mg/L y 5mg/L respectivamente, por otra parte el nivel promedio de plomo en el agua para uso agrícola no rebasa los límites máximos permitido, por lo tanto es aceptable el uso del agua (Montes de Oca-Jiménez et al., 2022). Así mismo, Mancilla-Villa *et al.*, estudiaron la calidad el agua para riego agrícola, uso urbano, natural y obtuvieron resultados con respecto a los metales cadmio, plomo y mercurio encontraron que la concentración de plomo (0.0007 – 0.0086 mg/L) y mercurio (0.0039 – 0.0203 mg/L) superan el límite permisible para aguas naturales (Mancilla Villa et al., 2017).

Efectos en la Salud

La exposición continua y la acumulación de los metales en los seres vivos da como resultado un gran problema debido a su alta toxicidad, por lo que causa un impacto en la salud. Las afecciones que producen en el cuerpo, van desde daños en los órganos hasta producir cáncer, todo esto es influenciado por el tipo de metal o metaloide (Reyes et al., 2016).

Las afectaciones que pueden provocar los metales como el Pb y Cd en la salud son las siguientes: mayor riesgo de padecer una enfermedad coronaria y cardiovascular, así mismo puede ser un factor

determinante la exposición de estos dos metales para desarrollar una enfermedad renal crónica (Chowdhury et al., 2018; Navas-Acien et al., 2009; Surenbaatar et al., 2023).

Los metales tienen varios mecanismos de toxicidad, los principales a nivel molecular son los siguientes:

1. Inactivación de las proteínas, debido a que ocurre el desplazamiento de los centros catiónicos de las enzimas, por lo que se forma un complejo metal-proteína con metales catiónicos divalentes (Covarrubias & Cabriales, 2017; Ferrer) .
2. Desnaturalización de las proteínas, ya que la afinidad que tienen los metales por los grupos SH⁻ ocasiona un bloqueo en la biomoléculas, específicamente en los grupos funcionales más importantes (Covarrubias & Cabriales, 2017; Schutzendubel & Polle, 2002).
3. El hierro y el cobre son metales que se autooxidan formando especies reactivas de oxígeno y como resultado es la formación de peróxido de hidrógeno, asimismo por la reacción de Fenton se produce el radical hidroxil (Covarrubias & Cabriales, 2017; Schutzendubel & Polle, 2002).

En los siguientes estudios se mencionan algunas de las enfermedades causadas por la intoxicación de metales en especial por cadmio y plomo. El estudio de un hombre de 47 años con hormigueo y torpeza, León-Ruíz *et al.*, realizaron el estudio clínico tanto con análisis de laboratorio y estudios imaginológicos, y concluyeron que presenta una polineuropatía por cadmio de origen tóxico-ocupacional, es decir que nervios de diferentes partes del cuerpo están comprometidos (León-Ruiz et al., 2022). Por otra parte, las afectaciones que ocasiona el plomo a nivel del sistema nervioso central es la encefalopatía aguda y la neuropatía periférica, asimismo ocasiona efectos hematológico como es la anemia microcítica (Calderón et al., 2022).

Normas que regulan las concentraciones de metales pesados

La calidad del agua es de gran preocupación e interés de los gobiernos de todos los países y esto hace que se vea afectada la salud de la población, además repercute en las actividades económicas que utilicen este recurso. Por este motivo las diferentes organizaciones de los países han desarrollado Normas o Códigos para establecer las características deseables del agua para su utilización en las diferentes actividades y para consumo humano.

Las características son tanto fisicoquímicas y en especial de elementos o compuestos inorgánicos como son los metales, los cuales son de gran interés por la toxicidad que representan para el medio ambiente y los seres humanos.

La aplicación de las Leyes, Normas y Códigos se deben de dirigir a los que se encargan del suministro y mantenimiento del agua, y que tengan la debida supervisión para un manejo adecuado, debido a esto los diferentes países tienen organismos encargados de realizar e implementar estas Normas, las cuales establecen la calidad del agua con respecto al contenido de metales en el agua, por lo que se mencionan a continuación.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

En México, el organismo que se encarga de realizar y ejecutar las NOM es la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), es la que se encarga de la conservación, protección y el buen aprovechamiento de los recursos naturales del país utilizando los diferentes criterios e instrumentos (SEMARNAT).

La Norma que menciona las concentraciones permitidas que debe de tener la calidad del agua para su consumo humano y utilización es la NOM-127-SSA1-2021, en la cual se menciona que es de obligatoriedad para los organismos que se encargan del abastecimiento del agua tanto públicos como privados (DOF, 2022).

En la NOM-127-SSA1-2021, se muestran las especificaciones sanitarias de metales y metaloides que incluyen los metales: Plomo (Pb), Aluminio (Al), Mercurio (Hg), Arsénico (As), Hierro (Fe), Bario (Ba), Níquel (Ni), Cromo total (Cr), Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Cadmio (Cd), Selenio (Se), además se muestra el límite permisible (mg/L) de cada uno de los metales anteriores. Dos de los metales más importantes por los efectos tóxicos que se mencionaron anteriormente es el plomo y cadmio, donde el límite permisible es 0.01 mg/L y 0.005 mg/L respectivamente.

Otra de las Normas Oficiales Mexicanas que entro en vigor en Marzo del 2023 la NOM-001-SEMARNAT-2023 establece que los límites permitidos de sustancias tóxicas en las descargas de aguas residuales en los diferentes cuerpos receptores con el objetivo de mejorar la calidad del agua. En la Norma se muestran los límites permisibles para metales y cianuros, que incluye al arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc y cianuro, el límite permisible es diferente para cada cuerpo

receptor como son los lagos, canales, rios, embalses, drenes, arroyos, lagunas y zonas marinas, en el caso del suelo depende de la actividad como riego de áreas verdes, infiltración y otros riesgos, cárstico (DOF, 2022).

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)

La Agencia Federal del Gobierno de los E.U.A que está encargada de salvaguardar la salud de los seres humanos y del medio ambiente (suelo, agua, aire) es la EPA (Environmental Protection Agency). La EPA tiene la Ley de Agua Potable Segura (SDWA) y regula que la EPA publique cada cinco años la lista de contaminantes (CCL) del agua potable y considere los efectos en la salud (EPA, 2023a), asimismo ha establecido Regulaciones Nacionales Primarias de Agua Potable (NPDWR) que establecen los estándares obligatorios de la calidad del agua con respecto a los contaminantes, los cuales se llaman niveles máximos de contaminantes (MCL). La Lista de químicos inorgánicos incluye a los metales cobre, arsénico, antimonio, berilio, cadmio, plomo, bario, cromo total, mercurio. En el caso de los metales plomo y cadmio, el MCL es 0.015 mg/L y 0.005 mg/L respectivamente (EPA, 2023b).

Oficina de Normas Indias (BIS)

BIS (Bureau of Indian Standards) es el Organismo Nacional de Normalización de la India que se estableció en el 2016 para desarrollar acciones de estandarización, certificación de calidad de productos para su utilización (Bureau of Indian Standards). BIS tiene el estándar indio para las especificaciones del agua potable (IS 10500 : 2012), en el cual se muestran las características que debe de tener el agua potable y con respecto a los metales se encuentran los siguientes: aluminio, bario, cobre, magnesio, manganeso, selenio, plata, zinc, cadmio, plomo, mercurio, níquel, cromo total, arsénico total, molibdeno, donde el límite aceptable para el plomo y cadmio es 0.01 mg/L y 0.003 mg/L, respectivamente.

Organización Mundial de la Salud (WHO)

WHO (World Health Organization) inicio el 7 de abril de 1948 con el objetivo construir un mejor futuro para las personas de todo el mundo en cuestión de salud (Organización Mundial de la Salud). La WHO realiza normas internacionales para la calidad del agua y la salud humana, las cuales utilizan los países de todo el mundo para regular y crear estándares. La normativa de la calidad del agua potable en su cuarta edición incluye también la 1ª y 2ª revisión, por lo que respecta al valor de referencia para metales

se mencionan los siguientes: arsénico, cadmio, cromo total, cobre, manganeso total, mercurio y níquel, por otra parte el valor de referencia del cadmio es 0.003 mg/L y del plomo es de 0.01 mg/L (World Health Organization, 2022).

Comparación de las Normas Oficiales Mexicanas con Normas extranjeras

La calidad del agua es un tema muy importante a nivel mundial, debido a esto las organizaciones de los distintos países del mundo han establecido normas o leyes para regular concentraciones de metales en el consumo humano del agua (potable), como se muestra en la Tabla 1, el límite permisible de algunos metales que establece la Norma Oficial Mexicana y se comparan con diferentes normas o criterios internacionales como es la EPA, BIS y WHO, donde podemos observar que el límite de la NOM-127-SSA1-2021 para los diferentes metales es muy semejante con las normas internacionales, esto es debido a que la Norma Oficial Mexicana siguió las especificaciones que establece la WHO, asimismo los máximos niveles de contaminantes establecidos por la EPA, y de igual manera Bureau Indian Standards (BIS) obtuvo ayuda de los lineamientos que establece EPA y WHO. De acuerdo a lo anterior tanto la Norma Mexicana como la India mejoraron sus criterios en base a lo que establece la WHO, ya que es el mayor organismo a nivel mundial que regula a los países del mundo.

Tabla 1. Comparación de los límites permisibles de metales en el agua potable

Metal	NOM-127-SSA1-2021 (mg/L)	EPA (mg/L)	IS 10500 - 2012 (BIS) (mg/L)	WHO (mg/L)
As	0.025	0.01	0.01 (total)	0.01
Cd	0.005	0.005	0.003	0.003
Cr total	0.05	0.1	0.05	0.05
Cu	2	1.3	0.05	2
Pb	0.01	0.015	0.01	0.01
Mn total	0.15		0.1	0.08
Hg	0.006	0.002	0.001	0.006
Ni	0.07		0.02	0.07

Se recomienda seguir con las actualizaciones de los criterios tomando en cuenta nuevas sustancias tanto orgánicas como inorgánicas que afecten la salud, dosificación para asegurar la inocuidad del agua para consumo y su utilización en las diferentes actividades.

CONCLUSIONES

Es de prioridad alta la actualización de las Normas sobre el contenido de metales en el agua para asegurar su inocuidad y así salvaguardar la vida de los seres humanos tomando en cuenta las sustancias tóxicas prioritarias para regular el contenido de éstas en el agua utilizando los límites permisibles. Así mismo es muy importante seguir con la investigación de nuevos materiales y la utilización de desechos orgánicos debido a su capacidad de adsorción (grupos funcionales) para la aplicación de tratamientos de remediación al medio ambiente (agua, suelo, plantas) y así ofrecer un medio ambiente adecuado para las futuras generaciones, por último estudiar más a fondo los efectos de los metales pesados como el Plomo, Cadmio y Arsénico en el organismo a nivel molecular (reacciones enzimáticas) , fisiológico (afectaciones en los órganos) y neurológico (sistema nervioso central) para determinar la dosis o concentración mínima para que no tenga efectos nocivos en el organismo, además de asegurar una buena calidad del agua.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Mentasti, E., Sarzanini, C., & Barberis, R. (2002). Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutant profiles. *Environmental pollution*, 119(2), 177-193.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749101003335>
- Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., . . . Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere*, 99, 19-33. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653513015051>
- Ali, A. S., & Us Sa, A. R. (2014). Effect of different heavy metal pollution on fish. *Res. J. Chem. Environ. Sci*, 2(1), 74-79.
https://www.researchgate.net/publication/269784904_Effect_of_Different_Heavy_Metal_Pollution_on_Fish
- Arias, N. M. M., Rangel, M. d. C. N., López, I. C. P., Sánchez, E. C., & de la Cruz, J. M. (2018). El suelo y su multifuncionalidad:¿ qué ocurre ahí abajo? *CIENCIA ergo-sum*, 25(3).
https://www.researchgate.net/publication/327322518_El_suelo_y_su_multifuncionalidad_que_ocurre_ahi_abajo



Azcona-Cruz, M. I., Ramírez, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de especialidades médico-quirúrgicas*, 20(1), 72-77.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47345916012>

Baird, C. (1999). *Environmental chemistry*. Freeman.

Bradl, H. (2002). *Heavy metals in the environment: origin, interaction and remediation*. Elsevier.

Bureau of Indian Standards, B. *About us*.

<https://www.bis.gov.in/the-bureau/about->

[bis/#:~:text=BIS%20is%20the%20National%20Standard,connected%20therewith%20or%20incidental%20thereto](https://www.bis.gov.in/the-bureau/about-#:~:text=BIS%20is%20the%20National%20Standard,connected%20therewith%20or%20incidental%20thereto).

Calderón, H. I. B., Hernández-Cárabes, P., Padilla-Sánchez, A. J., Gutiérrez, J. Á. E. S., & Vázquez, C.

A. M. (2022). Intoxicación por plomo y su impacto en la práctica clínica: artículo de revisión. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(1), 4176-4189.

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/1792>

Chowdhury, R., Ramond, A., O'Keeffe, L. M., Shahzad, S., Kunutsor, S. K., Muka, T., . . . Khan, H.

(2018). Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *bmj*, 362. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30158148/>

Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química viva*, 11(3), 147-170.

<https://www.redalyc.org/pdf/863/86325090002.pdf>

Covarrubias, S. A., & Cabriales, J. J. P. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en

México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33, 7-21.

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.esp01.01>

del Valle Melendo, J. (2017). El agua, un recurso cada vez más estratégico. *Cuadernos de*

estrategia(186), 71-118. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6115630>

DOF. (2022). Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-2021), Agua para uso y consumo humano.

Límites permisibles de la calidad del agua.

https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0



- DOF. (2022). Norma Oficial Mexicana (NOM-001-SEMARNAT-2021), Límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022
- EPA, U. S. E. P. A. (2023a). *Basic Information on the CCL and Regulatory Determination*. <https://www.epa.gov/ccl/basic-information-ccl-and-regulatory-determination>
- EPA, U. S. E. P. A. (2023b). *National Primary Drinking Water Regulations*. <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/national-primary-drinking-water-regulations>
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S1137-66272003000200008&script=sci_abstract
- Flora, S. J. S., Mittal, M., & Mehta, A. (2008). Heavy metal induced oxidative stress & its possible reversal by chelation therapy. *Indian Journal of Medical Research*, 128(4), 501-523. https://www.researchgate.net/publication/23688119_Flora_SJS_Mittal_M_Mehta_A_Heavy_metal_induced_oxidative_stress_its_possible_reversal_by_chelation_therapy_Indian_J_Med_Res_128_501-523
- Islam, M. A., Karim, M. R., Higuchi, T., Sakakibara, H., & Sekine, M. (2014). Comparison of the trace metal concentration of drinking water supply options in southwest coastal areas of Bangladesh. *Applied water science*, 4, 183-191. https://www.researchgate.net/publication/271913975_Comparison_of_the_trace_metal_concentration_of_drinking_water_supply_options_in_southwest_coastal_areas_of_Bangladesh
- Jaishankar, M., Mathew, B. B., Shah, M. S., & Gowda, K. R. S. (2014). Biosorption of few heavy metal ions using agricultural wastes. *Journal of Environment Pollution and Human Health*, 2(1), 1-6. https://www.researchgate.net/publication/262175399_Jaishankar_M_Mathew_B_B_Shah_M_S_KR_S_G_2014_Biosorption_of_Few_Heavy_Metal_Ions_Using_Agricultural_Wastes_Journal_of_Environment_Pollution_and_Human_Health_21_1-6

- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), 60.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4427717/>
- Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants*. CRC press.
<http://base.dnsgb.com.ua/files/book/Agriculture/Soil/Trace-Elements-in-Soils-and-Plants.pdf>
- León-Ruiz, M., Jiménez-Jiménez, F. J., & Benito-León, J. (2022). Polineuropatía por cadmio: una causa infrecuente, pero no menos importante, de neuropatía periférica. *rn*, 74, 403-407.
<https://neurologia.com/articulo/2021288>
- Mancilla Villa, O. R., Fregoso Zamorano, B. E., Hueso Guerrero, E. J., Guevara Gutiérrez, R. D., Palomera García, C., Olguín López, J. L., . . . Flores Magdaleno, H. (2017). Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería. *Idesia (Arica)*, 35(3), 115-123.
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292017000300115
- Martin, C. W. (2000). Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn, Germany. *Catena*, 39(1), 53-68.
https://www.researchgate.net/publication/222362947_Heavy_metal_trends_in_floodplain_sediments_and_valley_fill_River_Lahn_Germany
- Martínez Flores, K., Souza Arroyo, V., Bucio Ortiz, L., Gómez Quiroz, L. E., & Gutiérrez Ruiz, M. C. (2013). Cadmio: efectos sobre la salud. Respuesta celular y molecular. *Acta toxicológica argentina*, 21(1), 33-49.
https://www.researchgate.net/publication/262475781_Cadmio_efectos_sobre_la_salud_Respu esta_celular_y_molecular
- Montes de Oca-Jiménez, R., Pérez-Rodríguez, J. E., & Rodríguez-Domínguez, M. C. (2022). Niveles de plomo en suelo, pasto y agua en localidades cercanas al río Lerma, del Estado de México, dedicada a la ganadería. *Terra Latinoamericana*, 40.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v40/2395-8030-tl-40-e949.pdf>



- Moreno-Rivas, S. C., & Ramos-Clamont Montfort, G. (2018). Descontaminación de arsénico, cadmio y plomo en agua por biosorción con *Saccharomyces cerevisiae*. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 21.
- https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2018000421205
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A. G., Gutiérrez, A. D. R., & García, F. P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. (2010). Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. *Environmental chemistry letters*, 8, 199-216.
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-010-0297-8>
- Navarrete, G. G., Noriega, Y. R. Q., Mazón, S. L. L., Landín, M. E. O., & Munive, G. T. (2018). CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO DEL POBLADO HUÉPARI, SONORA. *Epistemus*, 12(24), 78-88.
- <https://epistemus.unison.mx/index.php/epistemus/article/view/71>
- Navas-Acien, A., Tellez-Plaza, M., Guallar, E., Muntner, P., Silbergeld, E., Jaar, B., & Weaver, V. (2009). Blood cadmium and lead and chronic kidney disease in US adults: a joint analysis. *American journal of epidemiology*, 170(9), 1156-1164.
- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19700501/>
- Organización Mundial de la Salud, W. *Mejorar la salud para todos, en todas partes*. Acerca de la OMS (who.int) <https://www.who.int/es/about>
- Pabón, S. E., Benítez, R., Sarria, R. A., & Gallo, J. A. (2020). Water contamination by heavy metals, analysis methods and removal technologies. A review. *Entre Ciencia E Ingeniería*, 14(27), 9-18.
- https://www.researchgate.net/publication/350792648_Water_contamination_by_heavy_metals_analysis_methods_and_removal_technologies_A_review
- Pandey, G., & Madhuri, S. (2014). Heavy metals causing toxicity in animals and fishes. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 2(2), 17-23.

https://www.researchgate.net/publication/303213699_Heavy_metals_causing_toxicity_in_animals_and_fishes

Paul, B. T., Clement, G. Y., Anita, K. P., & Dwayne, J. S. (2012). Heavy metals toxicity and the environment. *EXS*, 101, 133-164. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4144270/>

Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera: Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología aplicada*, 5(1-2), 149-155. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162006000100020&script=sci_abstract

Páez-Osuna, F., Frías-Espericueta, M. G., & Osuna-López, J. I. (1995). Trace metal concentrations in relation to season and gonadal maturation in the oyster *Crassostrea iridescens*. *Marine environmental research*, 40(1), 19-31.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0141113694000049>

Pérez-López, E. (2016). Quality control of water for human consumption in the region of the West in Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(3), 3-14.

https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0379-39822016000300003&script=sci_abstract

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Lagos, M. D., & Jimenez, E. E. G. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo: I2+ D*, 16(2), 66-77.

https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447

Schutzendubel, A., & Polle, A. (2002). Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of experimental botany*, 53(372), 1351-1365.

https://www.researchgate.net/publication/274557427_Plant_responses_to_abiotic_stresses_heavy_metal-induced_oxidative_stress_and_protection_by_mycorrhization

SEMARNAT. *¿Qué hacemos ?* gob.mx <https://www.gob.mx/semarnat/que-hacemos>

Sharma, R., Agrawal, P. R., Kumar, R., & Gupta, G. (2021). Current scenario of heavy metal contamination in water. *Contamination of Water*, 49-64.



https://www.researchgate.net/publication/353930393_Current_scenario_of_heavy_metal_contamination_in_water

Surenbaatar, U., Lee, S., Kwon, J.-Y., Lim, H., Kim, J.-J., Kim, Y.-H., & Hong, Y.-S. (2023). Bioaccumulation of Lead, Cadmium, and Arsenic in a Mining Area and Its Associated Health Effects. *Toxics*, 11(6), 519. <https://www.mdpi.com/2305-6304/11/6/519>

Tomaila, J., & Iannacone, J. (2018). Toxicidad letal y subletal del arsénico, cadmio, mercurio y plomo sobre el pez *Parachaeirodon innesi* neon tetra (Characidae). *Revista de Toxicología*, 35(2), 95-105.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91960137004>

Williams, C., & de la Caridad, A. (2013). Efectos nocivos de la contaminación ambiental sobre la embarazada. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 51(2), 226-238.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1561-30032013000200011

World Health Organization, W. (2022). Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>

