

Importancia del conocimiento del envenenamiento por metales pesados

Autor:

Zambrano, Nathalia

Universidad UMECIT, Panamá

Licenciatura en Criminalística y Ciencias Forenses

zambranog013@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-2569-1026>

Docente asesor:

Brenes Tejada, Alexie

Universidad UMECIT, Panamá

Asignatura: Farmacología y Estupefacientes

alexiemanuel@umecit.edu.pa

<https://orcid.org/0009-0007-7656-4274>

Sede: Panamá

DOI: 10.37594/sc.v1i7.1773

Resumen

El objetivo principal de este artículo fue investigar los distintos tipos de análisis de laboratorio, para la detección de metales pesados en el organismo en casos de envenenamiento. Para ello se realizó una revisión bibliográfica en distintas fuentes. En la actualidad la farmacología se enfoca en el estudio de cómo los compuestos como los metales pesados interactúan con los sistemas biológicos, y en este caso, cómo esos metales pueden alterar la función normal del organismo. Los resultados obtenidos de dichos análisis aportan pruebas científicas al servicio de la justicia.

Palabras clave: Contaminación, envenenamiento, dosis letal, consumo, exposición.

Importance of knowledge of heavy metal poisoning

Abstract

The main objective of this article was to investigate the different types of laboratory analyzes for the detection of heavy metals in the body in cases of poisoning. For this purpose, a bibliographic review was carried out in different sources. Currently, pharmacology focuses on the study of how

compounds such as heavy metals interact with biological systems, and in this case, how these metals can alter the normal function of the organism. The results obtained from these analyzes provide scientific evidence at the service of justice.

Keywords: Pollution, poisoning, lethal dose, consumption, exposure.

1. INTRODUCCIÓN

Justificación

El propósito de este trabajo de investigación es crear una pequeña cátedra acerca de las pruebas de análisis de envenenamiento por metales pesados enfocados en la farmacología, y su aplicación en las ciencias forenses para el esclarecimiento de hechos, que involucren personas presuntamente afectadas por este fenómeno. Para esto se llevan a cabo una serie de pruebas y el presente artículo justifica su importancia, aportando conocimientos al lector sobre la evolución de dichas pruebas, sus aplicaciones y relevancia en la actualidad.

Descripción de la temática o problema de investigación

La temática de investigación adquiere una gran relevancia en la actualidad tanto para nosotros como estudiantes de las ciencias forenses, así como para el público en general. Las intoxicaciones por metales pesados son un problema de salud pública que afecta a personas de todas las edades y en cualquier parte del mundo.

Antecedentes investigativos

Los metales están entre los tóxicos más antiguos conocidos por el hombre. En el industrializado mundo actual, las fuentes de exposición a metales son ubicuas tanto en el campo laboral como a partir de agua, los alimentos o el ambiente contaminados. (Ferrer, 2003).

Según investigaciones acerca del envenenamiento por plomo, los egipcios ya utilizaban compuestos que contenían metales pesados, como el plomo, en diversos productos, como cosméticos, tinte de cabello y envenenamiento de agua. Aunque no tenían un concepto formal de “*envenenamiento por metales pesados*”, algunos relatos históricos sugieren que la toxicidad del plomo fue reconocida debido a sus efectos en la salud, especialmente en la clase alta. (Robles, 2014).

Sin embargo, no fue hasta el Renacimiento cuando la química comenzó a desarrollarse con Paracelso, médico y alquimista. Fue el primero en la realización de diferentes estudios toxicológicos y de cómo los metales pesados, como el mercurio y el plomo, podían causar enfermedades. Paracelso

postuló que la dosis de una sustancia tóxica era crucial para determinar su impacto en el cuerpo, una idea revolucionaria en la medicina.

Finalmente, con la aparición de la química analítica, la identificación de metales pesados en muestras biológicas comenzó a ser más precisa. A lo largo del siglo XIX, se introdujeron métodos como la espectroscopía para detectar rastros de metales pesados en el aire, agua y organismos vivos. Esto permitió a los científicos detectar niveles de metales como el plomo, el mercurio y el arsénico en casos de envenenamiento.

A continuación, presentamos una tabla orientativa sobre los principales metales detectados en casos de envenenamientos y donde podemos encontrarlos:

Tabla 1.

Metales Contaminantes	Uso Diario
Contaminación por plomo (Pb)	Podemos encontrarlo en pinturas viejas, gasolina, baterías y residuos industriales.
Contaminación por mercurio (Hg)	Usualmente encontramos mercurio en actividades de tipo industrial, como la minería de oro, la quema de carbón y en especial la fabricación de productos electrónicos.
Contaminación por arsénico (As)	Este se encuentra en agua subterránea, procesos industriales como la fundición de metales y en plaguicidas.
Contaminación por cadmio (Cd)	Podemos encontrarlo principalmente en pigmentos, baterías recargables y en la industria de la galvanización.
Contaminación por cromo (Cr)	Se utiliza en las fábricas de acero inoxidable, curtido de cuero y algunos productos químicos.
Contaminación por níquel (Ni)	Se utiliza en la industria metalúrgica, productos de aleaciones y en la fabricación de baterías.

Fuente: (Romero Ledezma, 2009).

Formulación de la interrogante

Se plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las técnicas de análisis en el ámbito forense para determinar el envenenamiento por metales pesados?

Objetivo(s)

- Resaltar la importancia del conocimiento de los envenenamientos con metales pesados.
- Conocer los métodos empleados para la extracción y análisis de muestras biológicas para la determinación de envenenamiento por metales pesados desde un enfoque forense.
- Identificar y explicar los puntos claves de los casos de envenenamiento.
- Aportar una base de conocimiento para futuras investigaciones que permitan desarrollar

métodos analíticos que optimicen la obtención de información desde el ámbito forense.

Breve desarrollo teórico y conceptual

¿Qué son metales pesados?

Los metales pesados son elementos inorgánicos prioritarios y también son motivo de gran preocupación, debido a sus magnificaciones a los niveles tróficos más altos. (Paul, 2017).

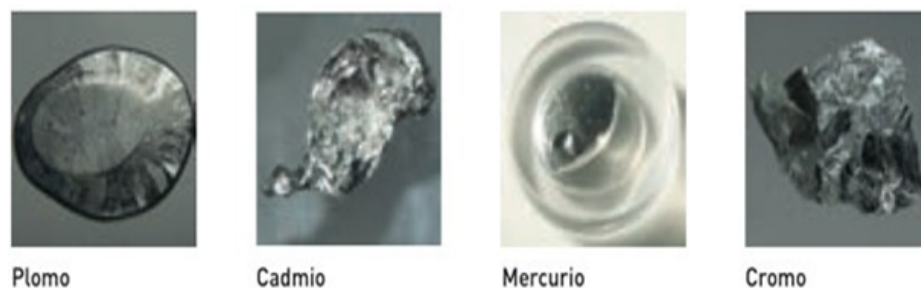
Los metales pesados son tóxicos ambientales muy peligrosos. Sus características más comunes son: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, todo lo cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos, ya que su degradación natural es difícil. (Camacho, 1998).

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza terrestre y están presentes en concentraciones variables en todos los ecosistemas. Las principales fuentes antropogénicas de metales pesados son varias fuentes industriales, incluidas las actividades mineras actuales y anteriores, fundiciones y hornos de fundición, y fuentes difusas como tuberías, subproductos de combustión y humos de tráfico.

Estructura Química

El término metal pesado se utiliza de forma imprecisa, pero en general se refiere a cualquier elemento químico metálico que tiene una densidad relativamente alta y es tóxico o venenoso en bajas concentraciones, e incluye Hg, Cd, As, Cr, Tl y Pb. Los metales pesados, como Pb, Cd, Hg, As, Se y Zn pertenecen a la llamada primera clase de peligro. La actividad humana ha cambiado drásticamente los ciclos biogeoquímicos y el equilibrio de algunos metales pesados en el medio ambiente.

Figura 1.



Nota: Fuentes de exposición causantes de patología humana.

En la actualidad la exposición a elementos metálicos se produce de forma específica en la actividad laboral, como ha sucedido a lo largo de la historia, pero además la población general entra en contacto con ellos a través del agua, los alimentos y el ambiente, donde su presencia se ha incrementado por la intervención de la actividad industrial humana sobre los ciclos hidrogeológicos. (Sullivan, 2001).

Actividades específicas producen riesgos mayores frente a determinados elementos, como la exposición al plomo en las empresas de baterías o exposición al mercurio en las operaciones de electrólisis. Los trabajadores dentales han recibido una notable atención en las últimas décadas por su potencial exposición al berilio, mercurio y níquel.

Se encuentran elementos metálicos en el agua y en los alimentos. Esta presencia es imprescindible en el caso de muchos de ellos, mencionados como metales esenciales, pero resulta tóxica cuando la concentración excede determinados límites o cuando se trata de alguno de los elementos más peligrosos.

Factores toxicocinéticos

Las características y efectividad del transporte de membrana condicionan la expresión de la toxicidad de las sustancias químicas al determinar su tiempo de permanencia junto a sus dianas. Estas características dependen de diversos factores entre los que destaca la hidro o liposolubilidad, volatilidad, peso molecular y la existencia de mecanismos específicos de transporte. En el caso de los compuestos metálicos las características mencionadas pueden diferir mucho entre distintos compuestos del mismo elemento. Las moléculas inorgánicas tienden a ser más hidrosolubles que las orgánicas, aunque algunas sales, por ejemplo, de plomo, son totalmente insolubles como sulfato, carbonato, cromato, fosfato y sulfuro de plomo.

En relación con la absorción y la distribución, los compuestos organometálicos se benefician de una mejor difusión por lo que se absorben bien por vía digestiva e incluso pueden absorberse por vía cutánea. La vía respiratoria es importante en el mercurio, que es el único metal volátil, y en la exposición a humos y vapores metálicos en condiciones extremas de temperatura y también a partículas, como en el caso del Pb que es fagocitado por los macrófagos alveolares. Las sales metálicas inorgánicas se absorben y difunden con mayor dificultad y algún compuesto, como el mercurio metal, no se absorbe por vía digestiva salvo a dosis muy altas. (FERRER, 2003).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) no establece un límite seguro en cuanto a la exposición a metales pesados ya que no existe una cantidad completamente libre de riesgos, sin

embargo, ofrece directrices en cuanto a los límites generales en función de las concentraciones de estos en la sangre.

Tabla 2.

La siguiente tabla indica los límites establecidos en adultos y los efectos del envenenamiento por estos metales

Metales contaminantes	Límites establecidos por la OMS en adultos	Efectos del envenenamiento
Plomo (Pb)	10 microgramos por decilitro ($\mu\text{g/dL}$)	Los efectos más comunes del envenenamiento por plomo incluyen daño cerebral, trastornos del comportamiento y problemas de desarrollo.
Mercurio (Hg)	1.0 microgramos de mercurio por gramo de peso (en pescado) ($1 \mu\text{g/g}$).	Los síntomas del envenenamiento incluyen temblores, trastornos cognitivos, pérdida de memoria, dificultades de coordinación, alteraciones emocionales, daño renal y, en casos graves, daño al cerebro y el sistema nervioso.
Cadmio (Cd)	7 microgramos por kilogramo de peso corporal (ingesta semanal ($\mu\text{g/kg pc}$))	La exposición aguda a grandes cantidades de cadmio puede llevar a efectos tóxicos graves de inmediato, como náuseas, vómitos, diarrea y daño a los pulmones o riñones.
Cromo trivalente (Cr^{3+})	250 μg/ Por día	La exposición a formas tóxicas de cromo, como el cromo VI, puede causar problemas respiratorios, daño renal, y cáncer.
Níquel (Ni)	En el agua potable 0.07 mg/L. 1 mg/m^3 para el níquel metálico y algunos compuestos en ambientes laborales.	La exposición a niveles elevados de níquel puede causar dermatitis, asma y, en casos graves, efectos carcinogénicos y cáncer.

Fuente: (OMS, 1998).

Muestras biológicas

En la investigación forense de casos de envenenamiento por metales pesados, la recolección y análisis de muestras biológicas es crucial para determinar la presencia y concentración de estos tóxicos en el organismo. Dependiendo del tiempo transcurrido desde la exposición y la distribución del metal en el cuerpo, se pueden tomar diferentes tipos de muestras:

- a. Sangre
- b. Orina

- c. Cabello y uñas
- d. Tejido blando
- e. Heces

Muestras en autopsias (individuos fallecidos)

- a. Sangre y orina (si están disponibles)
- b. Hígado y riñón
- c. Hueso
- d. Cabello y uñas
- e. Contenido gástrico (Si hay sospecha de homicidio o suicidio por ingesta aguda del metal)

Métodos de análisis para determinar el envenenamiento por metales pesados en el ámbito forense

En el campo forense, existen distintos tipos de métodos de análisis para determinar el envenenamiento. Aunque la mayoría de las intoxicaciones ocurren debido a exposiciones accidentales ambientales y/o laborales, las intoxicaciones por elementos químicos también pueden ser resultado de un intento de suicidio/homicidio. (de Carvalho, 2023).

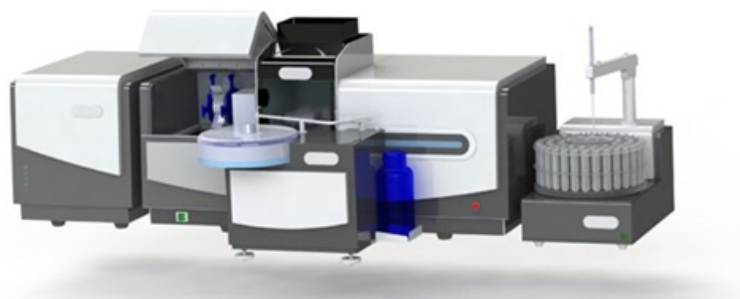
En estos casos, las técnicas analíticas que abordaremos a continuación destacan algunos de estos signos característicos que pueden llevar a la sospecha de un elemento específico y, en consecuencia, a la detección de la intoxicación. Como señaló Paracelso, *“El veneno está en todo, y nada está sin veneno. La dosis lo convierte en veneno o en remedio”*.

Espectrometría de Absorción Atómica (AAS)

La espectrometría de absorción atómica es uno de los métodos más comunes para detectar metales pesados en muestras biológicas, como sangre, orina o tejidos. Para ello, la muestra se disuelve en un disolvente adecuado, si no es soluble se aplica un tratamiento químico previo. Los espectrómetros de absorción atómica utilizan lámparas específicas para la medición de un solo elemento metálico, o lámparas de elementos múltiples que son específicas para una pequeña cantidad de elementos metálicos (González, 2022).

En los casos donde presuntamente se trata de un envenenamiento intencional o suicidio, la AAS mide la cantidad de luz absorbida por los átomos de metal en la muestra, permitiendo la cuantificación precisa de metales como plomo, arsénico, cadmio y mercurio.

Figura 2.



Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS)

La espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente ICP-MS es una técnica de análisis para determinar trazas de metales y no metales en materiales líquidos y sólidos, mediante el calentamiento inductivo del gas al estado de plasma en el que se producen iones, y los iones separados se cuantifican con un espectrómetro de masas. (P. Sudhakar, 2016).

Es una técnica altamente sensible y precisa utilizada para la detección de metales pesados en concentraciones muy bajas. Esta técnica permite detectar una amplia gama de metales en muestras biológicas o ambientales y es capaz de diferenciar entre isotopos, lo que ayuda a identificar la fuente del envenenamiento.

Cromatografía de Gases (GC) y Cromatografía Líquida (HPLC)

La cromatografía es un método probado que se utiliza para separar muestras complejas en sus componentes y es, sin lugar a dudas, el procedimiento más importante para aislar y purificar sustancias químicas. Se clasifica en dos tipos según el estado físico de la fase móvil utilizada: cromatografía líquida (LC) y cromatografía de gases (GC).

Aunque estas técnicas son más comunes para el análisis de compuestos orgánicos, también pueden usarse en combinación con técnicas como ICP o espectrometría de masas para detectar metales pesados en formas orgánicas, como compuestos organometálicos. (Cheriyedath, 2022).

La Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X (XRF)

La Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X también se usa para analizar tejidos biológicos, huesos y sangre en investigaciones forenses, pero con ciertas consideraciones debido a la naturaleza orgánica de estas muestras. Los huesos en específico pueden acumular metales como plomo, mercurio, cadmio y arsénico a lo largo del tiempo. Este tipo de análisis puede arrojar resultados satisfactorios en investigaciones forenses, por ejemplo:

- a. Determinar intoxicaciones crónicas o exposiciones ambientales prolongadas.
- b. Relacionar restos óseos con posibles causas de muerte por intoxicación.

Analizar el entorno en el que estuvo un cadáver antes de su hallazgo (suelo contaminado, etc.). (Kobylarz, 2023).

Cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y limitaciones, y en muchos casos, se utilizan de manera complementaria para obtener una evaluación más precisa del envenenamiento por metales pesados. La elección del método depende de la sustancia que se sospecha que causó el envenenamiento y del tipo de muestra disponible para su análisis.

Interacciones medicamentosas con los metales pesados

Las interacciones entre los medicamentos y los metales pesados en el organismo pueden afectar la absorción, distribución, metabolismo y excreción de los fármacos, así como potenciar o reducir sus efectos. Estas interacciones dependen del tipo de metal pesado y del medicamento involucrado.

- **Quelación y disminución de la absorción**

Algunos metales pesados, como el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd) y arsénico (As), pueden unirse a medicamentos y formar complejos insolubles, reduciendo la absorción del fármaco en el tracto digestivo.

Ejemplo:

Antibióticos como tetraciclinas y quinolonas: Forman complejos con hierro, aluminio, zinc y otros metales, disminuyendo su eficacia.

- **Alteración del metabolismo hepático**

Algunos metales pesados afectan enzimas hepáticas (como las del citocromo P450), modificando la metabolización de fármacos.

Ejemplo:

Plomo y cadmio: Inhiben enzimas hepáticas, prolongando la acción de algunos medicamentos y aumentando su toxicidad.

- **Competencia por transportadores y proteínas plasmáticas**

Algunos metales pueden desplazar a los medicamentos de proteínas como la albúmina, aumentando la fracción libre del fármaco y su toxicidad.

Ejemplo:

El mercurio y el plomo pueden desplazar a los AINES (como el ibuprofeno), aumentando su efecto.

- **Afectación de la función renal y excreción**

Metales como el cadmio y el plomo pueden dañar los riñones, reduciendo la eliminación de medicamentos y aumentando su acumulación en el organismo.

Ejemplo:

Aminoglucósidos (gentamicina) y fármacos nefrotóxicos: Riesgo de toxicidad renal aumentado en presencia de metales pesados. (Singh, 2011).

Otros puntos claves que determinan la toxicidad de los metales pesados:

- **Mecanismos de toxicidad:** La farmacología forense estudia los mecanismos a través de los cuales los metales pesados causan daño. Por ejemplo, el plomo puede interferir con el sistema nervioso central, el mercurio afecta el sistema renal y el arsénico tiene efectos carcinogénicos.
- **Tratamiento de la intoxicación:** La farmacología también juega un papel crucial en el tratamiento del envenenamiento por metales pesados. Existen agentes quelantes, como el ácido dimercaprol, que se utilizan para unirse a los metales pesados en el cuerpo y facilitar su excreción, lo que se conoce como terapia de quelación.
- **Determinación de la dosis tóxica:** La farmacología estudia las dosis terapéuticas y las dosis tóxicas de sustancias. En el caso de los metales pesados, se determina el umbral de toxicidad, es decir, la cantidad de metal pesado que puede ser tolerada antes de que cause daño. (Services, 2022)

La cadena de custodia en Panamá

En la actualidad, aparte de estar al servicio de la justicia, la farmacología en el ámbito forense se ha abierto a otros campos de trabajo acordes con los problemas legales que se plantean en nuestra sociedad.

El laboratorio de toxicología forense presenta características especiales tanto en el equipo humano como en la tecnología de la que debe estar dotado. En él se desarrollan una gran cantidad de métodos analíticos, para poner de manifiesto la presencia o ausencia de sustancias tóxicas o potencialmente tóxicas en las muestras forenses. La investigación químico- toxicológica en casos post-mortem es el campo de trabajo donde la toxicología forense se enfrenta al reto de ser capaz de detectar un mayor número de sustancias, lo que también se aplica en casos de intoxicaciones. (Palencia, 2008).

En Panamá, el Manual de Procedimiento de Cadena de Custodia detalla en su texto único como manipular las muestras de fluidos biológicos y otras sustancias para la determinación de

contaminación por metales pesados. La siguiente tabla muestra estos fragmentos:

Tabla 3.

Muestras de sangre	Recolectar y manipular con guantes.	En sobres de papel o bolsas de papel o plásticas.	Mantener cadena de frío.
	Tomar con jeringuilla estéril con aguja desechable.		La piel no debe ser limpiada con alcohol cuando la muestra de sangre sea para alcoholemia.
	Tubo de ensayo con tapa roja, gris y/o, morada, limpio.		No someterlos a altas temperaturas.
			Trasladar lo más pronto posible al laboratorio correspondiente.
Fluidos biológicos diferentes de sangre (orina, humor vítreo, bilis, saliva, entre otros)	Manipular con guantes, hisopos, tubos o envases de vidrio o plástico, limpios y secos.	En bolsas plásticas.	
Cabellos, pelos, fibras	Recolectar con pinzas o guantes. Tarjeta de recolección.	En bolsa plástica individual o sobres de papel	Deben estar secos. No doble los cabellos. Nunca adherir a cintas u objetos engomados.

Fuente: Manual de Cadena de Custodia.

Casos de contaminación por metales pesados en Panamá: agua potable.

Determinación de metales pesados en agua embotellada en Panamá

Los estudiantes de la Universidad de Panamá realizaron un estudio en nuestro país, el cual arroja los siguientes resultados:

Se determinó la composición elemental de las 10 marcas de aguas embotelladas más vendidas en la República de Panamá. Las concentraciones de As, Cd, Cr, Hg, Pb y Sb fueron determinados por ICP – MS que es una técnica ampliamente utilizada para detectar y cuantificar metales pesados en diferentes matrices. La composición de todas las muestras de aguas analizadas está por debajo de los valores establecidos por el Reglamento Técnico **DGNTL.COPANIT 77-2007** que regula la

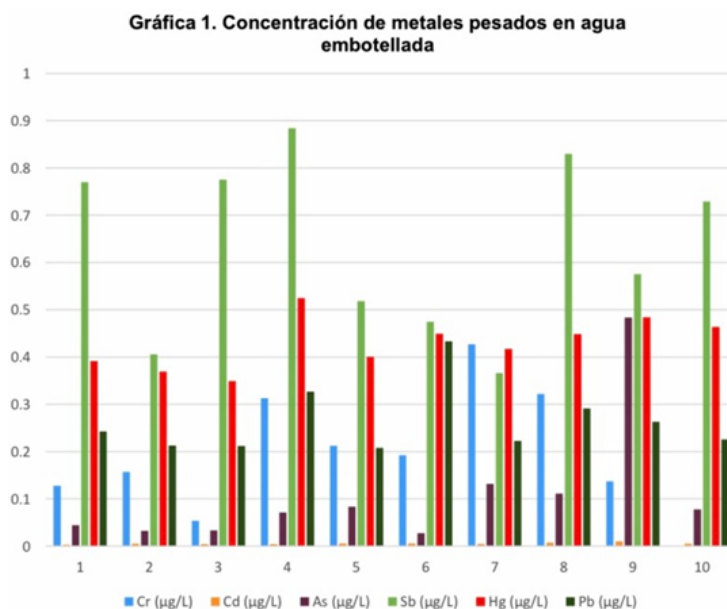
calidad del agua embotellada en Panamá, la Organización Mundial de la Salud y la Comunidad Europea.

La contaminación del agua embotellada puede ocurrir de diferentes formas, desde los procesos de manufacturas en las plantas procesadoras hasta los tipos de envases que la contienen. El agua que se consume en Panamá no está libre de contaminantes microbiológicos, por lo que se puede indicar que los procesos utilizados para purificar el agua, no son los adecuados o no se realizan en plantas procesadoras, y el agua que llega al consumidor no posee ningún control de calidad.

De acuerdo con un estudio realizado por Montes y Henríquez, las principales fuentes de contaminación por mercurio en Panamá son: Aire (quema de desechos y residuos en vertederos informales, producción de cemento), agua (vertederos informales de desechos generales, empastes de amalgamas dentales, equipos de laboratorio médico con mercurio), suelo (vertederos informales de desechos generales, interruptores eléctricos y reveladores con mercurio). (Almengor, 2022).

Figura 3.

Presentación de los resultados obtenidos del estudio de concentración de metales pesados en agua embotellada en Panamá



Fuente: Almengor, 2022.

2. METODOLOGÍA

Método y/o Procedimiento metodológico:

La metodología utilizada para este artículo fue una investigación basada en revisión bibliográfica descriptiva, acerca de los diferentes tipos de análisis que se realizan para determinar la presencia de metales pesados de manera accidental o intencional en casos de envenenamiento, aunado a esto se abordaron los distintos puntos de intervención de la farmacología en el ámbito forense en este tipo de casos. Para esto, se recopilaron datos de tablas, libros y estudios, a fin de garantizar al autor y al lector un mayor entendimiento del tema en cuestión.

Aspectos éticos:

Los aspectos éticos de este artículo de investigación sobre envenenamiento por metales pesados se respetaron el derecho de autor utilizando las normas APA, para citas y referencias bibliográficas. Es importante destacar la metodología tipificada en la cadena de custodia, que se utiliza en el campo forense.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la investigación mostraron que el envenenamiento por metales pesados está estrechamente relacionado con las ciencias forenses en muchos casos, ya que puede ser la causa de muerte o padecimientos clínicos en personas que han sido sometidas a exposición a niveles peligrosos de estos elementos. Las ciencias forenses se encargan de investigar las causas de la muerte o daño en un contexto legal, y el análisis de metales pesados juega un papel crucial en la identificación de toxinas o sustancias venenosas en el cuerpo, en un contexto de homicidios e incluso suicidios. En esta revisión bibliográfica se observó que la mayoría de las instituciones forenses y centros de investigación utilizan las mismas técnicas analíticas dependiendo de la infraestructura de cada uno de ellas para dotarse de equipos analíticos de alta sensibilidad y especificidad que les permita identificar los metales pesados en diferentes matrices.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos concluir que:

- Los métodos empleados para la extracción y análisis de muestras biológicas para determinar presencia de metales pesados en casos de envenenamiento si bien son eficaces con el uso de los equipos y técnicas correctas, muchas veces tienen sus limitaciones. Al tratarse de muestras de naturaleza tan sensibles, muchas veces este tipo de análisis deben utilizarse de manera complementaria para obtener un resultado concluyente mucho más preciso.
- Envenenamientos intencionales o accidentales por metales pesados son casos que pueden implicar crímenes, como homicidios, o bien, pueden estar relacionados con negligencia

laboral o ambiental, como la exposición prolongada a metales tóxicos en el trabajo o el entorno. Los peritos son fundamentales para documentar, analizar y presentar pruebas de la exposición a estos metales y sus efectos en un juicio.

- El envenenamiento por metales se relaciona con la farmacología al ser esta precisa al momento de explicar los efectos adversos, que produce esta exposición en el organismo a corto y largo plazo y cómo estos afectan diversas funciones fisiológicas. La farmacología se enfoca en el estudio de cómo los compuestos (en este caso los metales pesados) interactúan con los sistemas biológicos, y en este caso, cómo esos metales pueden alterar el organismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almengor, Z. (2022). DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN AGUA EMBOTELLADA
- Aura Palencia, G. R. (2008). Las muestras en toxicología forense. Importancia de la cadena de custodia.
- Camacho Barreiro A. & Ariosa Roche L. (1998). Diccionario de términos ambientales. La Habana: Centro Félix Varela. https://biblio.colsan.edu.mx/arch/especi/lc_otro_007.pdf
- Cheriyeath, S. (2022). Cromatografía líquida versus cromatografía de gases. News Medical Life Science. <https://www.news-medical.net/life-sciences/Liquid-Chromatography-versus-Gas-Chromatography.aspx>
- de Carvalho Machado, C., & Dinis-Oliveira, R. J. (2023). Clinical and forensic signs resulting from exposure to heavy metals and other chemical elements of the periodic table. *Journal of clinical medicine*, 12(7), 2591. <https://doi.org/10.3390/jcm12072591>
- EN PANAMÁ. Revista Científica Universitaria Volumen 11, número 2.
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 26 (Supl. 1), 141-153. <https://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v26s1/ocho.pdf>
- González, C. D. (2022). Métodos de Determinación de Metales en Fluidos Biológicos. Facultad de Farmacia de la Universidad de La Laguna.
- Kobylarz, D., Michalska, A., & Jurowski, K. (2023). Field portable X-ray fluorescence (FP-XRF) as powerful, rapid, non-destructive and 'white analytical tool for forensic sciences-State of the art. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 169, 117355. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165993623004429>
- Organización Mundial de la Salud. (1998). Límites de Exposición Profesional a los Metales Pesados que se Recomiendan por Razones de Salud. Ginebra.
- P. Sudhakar, P. R. (2016). Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Wisconsin.
- Paul, D. (2017). Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review. *Ann. Agrar. Sci.* <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.04.001>.

- Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud.
- Robles-Osorio, M. L., & Sabath, E. (2014). Breve historia de la intoxicación por plomo: de la cultura egipcia al Renacimiento. *Rev Invest Clin*, 66(1), 88-91. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revinvcli/nn-2014/nn141j.pdf>
- Romero Ledezma, K. P., (2009). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1), 45-46.
- Services, U. D. (2022). Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta.
- Singh R, G. N. (2011). Heavy Metals and Living Systems: An Overview. *Indian Journal of Pharmacology* .
- SULLIVAN, J. B. & KRIEGER, G. R. Environmental sciences: pollutant fate and transport in the environment. *Clinical Environmental Health and Toxic Exposures*. Philadelphia: Lippincott William and Wilkins, 2001, p. 6-30.