

Seguridad alimentaria: Riesgo asociados Metales Pesados sobre la salud humana

Food safety: Risk associated with heavy metals on human health

Robles Urgilez, María;
Universidad de Guayaquil
maria.roblesu@ug.edu.ec;
<https://orcid.org/0000-0001-5457-71024>

Ecuador <http://www.jah-journal.com/index.php/jah>
Journal of American health
Enero - Junio vol. 7. Num. 2 – 2024
Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual
4.0 Internacional.

RECIBIDO: 09 DE ABRIL DEL 2024
ACEPTADO: 12 DE JUNIO 2024
PUBLICADO: 30 DE SEPTIEMBRE 2024



Scan this QR code with your smart phone or mobile device to read more papers

RESUMEN

La contaminación por metales pesados, como mercurio, arsénico, plomo y cadmio, representa un grave riesgo para la salud humana, así como para animales y ecosistemas. Este trabajo tiene como objetivo revisar los efectos en la salud de estos metales a través de la ingesta de alimentos contaminados. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura sobre fuentes de contaminación, que incluyen actividades industriales, agrícolas y el impacto del cambio climático en su dispersión. Los resultados indican que la exposición crónica a estos metales puede provocar enfermedades severas, como cáncer, disfunciones neurológicas y problemas cardiovasculares. Por ejemplo, el metilmercurio se acumula en la cadena alimentaria y es altamente tóxico para el sistema nervioso central, mientras que el plomo interfiere con el desarrollo cognitivo en niños. Además, el cadmio está relacionado con enfermedades pulmonares y disfunciones renales. A nivel global, la creciente contaminación por metales pesados exige una colaboración efectiva entre agencias reguladoras y un enfoque integral para mitigar sus efectos nocivos en la salud pública. La sensibilización sobre prácticas agrícolas seguras y la vigilancia de la calidad del agua son esenciales para reducir los riesgos asociados con estos contaminantes. En conclusión, es vital implementar estrategias efectivas para proteger tanto la salud humana como el medio ambiente frente a esta amenaza persistente.

Palabras clave: Contaminación, Metales pesados, Salud pública, Seguridad alimentaria, Cambio climático

ABSTRACT

Heavy metal pollution, such as mercury, arsenic, lead and cadmium, represents a serious risk to human health, as well as to animals and ecosystems. This study aims to assess the effects of these metals through the ingestion of contaminated food. A comprehensive literature

A review was conducted on sources of pollution, including industrial and agricultural activities and the impact of climate change on its dispersion. The results indicate that chronic exposure to these metals can lead to severe diseases, such as cancer, neurological dysfunctions and cardiovascular problems. For example, methyl mercury accumulates in the food chain and is highly toxic to the central nervous system, while lead interferes with cognitive development in children. In addition, cadmium is linked to lung diseases and kidney dysfunctions. At a global level, increasing heavy metal pollution demands effective collaboration between regulatory agencies and a comprehensive approach to mitigate its harmful effects on public health. Awareness of safe agricultural practices and water quality monitoring are essential to reduce the risks associated with these pollutants. In conclusion, it is vital to implement effective strategies to protect both human health and the environment from this persistent threat.

Key words: Pollution, Heavy metals public health, Food safety, Climate chang

1. INTRODUCCIÓN

La salud y el clima están inextricablemente vinculados y hoy la salud de miles de millones de personas está en peligro por la crisis climática. El cambio climático está socavando no sólo la salud de nuestro planeta, sino también la salud de las personas en todas partes a través de la contaminación tóxica del aire, la disminución de la seguridad alimentaria, mayores riesgos de brotes de enfermedades infecciosas, calor extremo, sequías, inundaciones y más. La evidencia científica respalda claramente que la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante la eliminación gradual de los combustibles fósiles y la adopción de prácticas sostenibles en el sector alimentario tiene un impacto directo en la salud. La contaminación del aire causada por la producción y quema de combustibles fósiles como el carbón, petróleo, gas natural contribuyen a una serie de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como a diversos tipos de cáncer. Además, la exposición a contaminantes ambientales derivados de combustibles fósiles puede provocar asma, diabetes y trastornos neurológicos entre otras manifestaciones (1), (2), (3), (4).

El cambio climático está causando daños sin precedentes en nuestro ecosistema, es así que el aumento de las temperaturas, el calentamiento y la acidificación de los océanos, las sequías severas, los incendios forestales, los patrones de precipitación alterados, la fusión de los glaciares, el aumento del nivel del mar y la amplificación de eventos meteorológicos extremos tienen implicaciones directas en nuestros sistemas de alimentación; aunque los impactos de estos factores ambientales sobre la disponibilidad de alimentos son bien conocidos, los efectos sobre la seguridad alimentaria (inocuidad de los alimentos) reciben menos atención (5). Los riesgos para la seguridad alimentaria considerados frecuentemente son patógenos y parásitos alimentarios, floraciones de algas nocivas, plaguicidas, micotoxinas y metales pesados, con especial énfasis en el metilmercurio y otros temas relacionados con contaminantes emergentes como los microplásticos, o los insectos como nuevas fuentes de alimentos (5), (6), (7), situación que presenta desafíos significativos para la seguridad alimentaria y la gestión sostenible de los recursos marinos (8), (9), (10).

Además del agua otro factor a considerar es la contaminación del suelo, según el Programa Internacional de Seguridad de Sustancias Químicas de la OMS identificó diez sustancias preocupantes, incluyendo Cd, Pb, Hg y plaguicidas altamente peligrosos (PAP). Estos elementos pueden contaminar el suelo y pasar a los alimentos y cuerpos de agua, representando un riesgo para la salud pública. La exposición crónica a estas sustancias puede causar desde problemas gastrointestinales hasta enfermedades graves como cáncer. Niños, mujeres embarazadas y personas desnutridas son especialmente vulnerables en estos casos. Los patógenos del suelo también pueden contaminar los alimentos, aumentando el riesgo de enfermedades. Más de 200 enfermedades están relacionadas con la ingesta de alimentos contaminados. Además, aproximadamente el 24% de la población mundial padece infecciones por helmintos transmitidos por el suelo y representa una amenaza significativa para la salud y el medio ambiente (11).

El crecimiento proyectado de la población mundial, que superará los 9 mil millones para 2050, requerirá un aumento significativo en la producción de alimentos, con un incremento del 70% a nivel mundial y del 100% en los países en desarrollo en comparación con los niveles de producción de 2009, quiere decir que la contaminación del suelo amenaza la seguridad alimentaria al reducir el rendimiento agrícola y hacer que los cultivos producidos sean inseguros para el consumo debido a niveles tóxicos de contaminantes.

Un aspecto importante a tener en cuenta es que, para que los alimentos sean consumidos, deben atravesar diversas etapas: desde su producción y procesamiento, hasta el transporte, la distribución y la preparación, pero muchas veces, también es necesario eliminarlos. La mayor parte de los gases de efecto invernadero relacionados con los alimentos tienen su origen en el uso del terreno y la agricultura, incluyen, por ejemplo: El metano producido por el proceso digestivo del ganado bovino, el óxido nitroso proveniente del uso de fertilizantes en la producción de cultivos, el dióxido de carbono causado por la tala de bosques para la expansión de los terrenos de labranza y otras emisiones en agricultura causadas por el aprovechamiento del estiércol, el cultivo de arroz, la quema de los residuos de cultivos y el uso de combustibles en las granjas (12), (1). Una proporción mucho más pequeña de las emisiones de gases de efecto invernadero proviene de la refrigeración y el transporte de los alimentos, así como de procesos industriales relacionados con la producción de papel y aluminio para el envasado, y la gestión de desechos alimentarios. En contraste, los alimentos de origen vegetal como frutas, verduras, cereales integrales, judías, guisantes, nueces y lentejas requieren menos energía, tierra y agua, y presentan una menor intensidad de emisiones en comparación con los productos de origen animal. Por lo tanto, nuestras elecciones alimentarias y la manera en que producimos estos alimentos impactan no solo en nuestra salud, sino también en el medio ambiente (12), (1).

La seguridad alimentaria se ve amenazada también por la contaminación con metales pesados, que representan un riesgo significativo para la salud pública. Estos contaminantes, incluyen productos químicos industriales, subproductos de pesticidas y productos farmacéuticos, pueden ingresar a los cultivos y organismos marinos a través del agua y el suelo contaminados, planteando riesgos desconocidos para la salud humana a largo plazo (13), (14).

A partir de lo expuesto en esta revisión, se busca actualizar el tema de la seguridad alimentaria, centrándose en la contaminación por metales pesados. Se abordarán las fuentes de estos metales en los alimentos, sus efectos en la salud y las cantidades permisibles. Además, se buscará evidencia y se describirán estrategias efectivas para eliminar estas sustancias del organismo y reducir los riesgos asociados.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se basó en una investigación bibliográfica exhaustiva que abordó las alteraciones en la salud por metales pesados. Para ello, se realizaron búsquedas en diversas bases de datos científicas ampliamente reconocidas, como PubMed, Scielo, Science Direct, Google Académico y otros buscadores relevantes. La búsqueda se centró en estudios publicados en los últimos 5 años previos a la realización de esta investigación, con el fin de obtener información actualizada y relevante. Se incluyeron estudios de revisión narrativa o sistemática que proporcionaran una visión global y profunda sobre el tema en cuestión. Además, se priorizaron los estudios redactados en idioma inglés o español para facilitar el análisis y comprensión de los resultados. Con el propósito de asegurar la calidad y pertinencia de los artículos seleccionados, se establecieron criterios de inclusión y exclusión. Se excluyeron aquellos artículos que se limitaban a ser cartas a los editores o memorias de congresos, ya que se buscaba contar con investigaciones más extensas y fundamentadas. Asimismo, se descartaron estudios que no se enfocaran específicamente en mercurio, arsénico, plomo y cadmio.

Tras la revisión de la literatura, se identificó un total de 65 investigaciones completas que cumplieron con los criterios establecidos. Estos estudios proporcionaron datos valiosos y relevantes para comprender la complejidad del tema.

3. RESULTADOS

Los metales pesados pueden originarse tanto de fuentes naturales, como las rocas, como de actividades antropogénicas, incluyendo la minería, los vertidos de basura, la incineración y el uso de pesticidas. El calentamiento global, la variabilidad climática y los cambios en la disponibilidad de nutrientes incrementan su dispersión en el medio ambiente y su absorción por plantas y organismos. Además, el desplazamiento humano eleva su exposición, lo que conlleva consecuencias negativas para la biodiversidad y la seguridad alimentaria (15).

A medida que las temperaturas aumentan, hay mayor absorción de metales pesados por las plantas, posteriormente estas son ingeridas por el ser humano al consumir alimentos contaminados. Por, tanto los factores de riesgo asociados con el cambio climático representan un riesgo para la salud si no se toman medidas para reducirlos (16).

Los metales pesados y los isótopos radioactivos pueden encontrarse en los alimentos, generalmente transportados por el agua. Un ejemplo es el nivel de mercurio en pescados capturados en lagos y ríos; metales como el cobre y el plomo, provenientes de caños o soldaduras, pueden contaminar los alimentos, provocando intoxicaciones. Además, el material de embalaje puede contribuir a la contaminación con estos metales (17).

Ciertos metales pesados son esenciales en pequeñas cantidades para funciones celulares en el cuerpo, como el cobalto (Co), cobre (Cu), cromo (Cr), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), selenio (Se) y zinc (Zn). Sin embargo, otros metales pesados, como el arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg), no son necesarios para la vida humana y se consideran potencialmente tóxicos (18). Existen metales que, aunque no son esenciales, tienen alta toxicidad y gran capacidad de bioacumulación y biomagnificación (19).

Los metales son liberados al ecosistema por varias actividades antrópicas y representan amenazas para las plantas, animales e incluso la salud humana debido a sus propiedades persistentes, bioacumulativas y no biodegradables y su toxicidad incluso a bajas concentraciones, estos pasan por ciclos biogeoquímicos, no se destruyen, sino que cambian de forma, lo que puede generar efectos adversos en el ambiente y en la salud humana debido a su toxicidad y bioacumulación en diferentes comportamientos ambientales. Los elementos metálicos no se pueden crear, ni descomponer por procesos biológicos o químicos. Además, sus concentraciones en el organismo vivo aumentan cuando son devorados por otros. Ya que, al ingerir plantas o animales contaminados podrían estimular síntomas de (20).

La interferencia de las actividades industriales y la combustión, las concentraciones se han vuelto anormales. Por lo tanto, estas fuentes son muy importantes en la emisión de metales, que, al ser liberados, son arrastrados por las corrientes de aire, ríos y corrientes oceánicas. Los efectos de la toxicidad del metal dependerán no solo del tipo de organismo diana (con el que provoca efectos), sino también de las condiciones de uso, disponibilidad, concentración y modo de absorción (21). Los elementos con concentraciones altas (superior a 5 g/cm³), la masa atómica sobre los 20, y se encuentran entre los contaminantes más tóxicos, con concentraciones bajas, provocando problemas ambientales y afectando nuestra salud. Los metales no se biodegradan, pueden almacenarse, así como de biomagnificarse en la cadena alimentaria de los seres vivos. Son considerados contaminantes ambientales extremadamente peligrosos (22).

El incremento de la temperatura ambiental parece que favorece la lixiviación desde los suelos a las aguas y al mismo tiempo aumenta la capacidad de las plantas para absorber y acumular metales pesados. La lixiviación de los metales pesados también parece favorecida por la disminución del pH del suelo a causa de la lluvia ácida y la fertilización con productos nitrificantes (23).

Definitivamente la principal fuente de estos metales es la contaminación ambiental, que proviene de diversas actividades industriales y afecta al suelo, el agua y el aire, llegando finalmente a la cadena alimentaria (24). Las principales fuentes artificiales son las operaciones de minería, fundición y refinación, que implica la extracción de metales de sus minerales en minas subterráneas y luego su fundición y refinado hasta que se recolectan y convierten en bienes consumibles que se descartan después de su uso. Se emiten metales al aire durante estas actividades; La combustión incompleta del combustible fósil, después de un largo período de tiempo, se depositará en la superficie terrestre. Y finalmente la incineración también produce grandes cantidades de metales tóxicos con consecuencia medio ambiental.

Las principales fuentes se enumeran a continuación (25), (26) a) Erosión y lixiviado de rocas y suelos: Al, Ba, Mn, V; b) Minería: Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb; c) Industria tratamiento de superficies: Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn; d) Otros vertidos industriales: Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn; e) Aguas residuales urbanas: Al, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn.

Tabla # 1 Descripción de las conciencias en la salud por metales pesados

Metal	Usepa(CMA)	Ecuador (CMA)	Consecuencias en la salud
As	0.05	0.05	M. Cutáneas, cáncer visceral, enfermedad vascular
Cd	Usepa(trastornos renales, efectos carcinogénicos
Mn	0.20	1.00	Daño en tracto respiratorio y cerebro, alucinaciones, olvido, daño nervios
Zn	0.80	5.00	Depresión, letargo, signos neurológicos, aumento de sed
Pb	0.006	0.05	teratogenicidad cerebral, enfermedades renales, vasculares y neuronales
Hg	0.00003	0.001	Artritis reumatoide, enfermedad renal, vascular neuronal.

Fuente: (22) (41) *Consecuencias en la salud humana al sobre- pasarse los límites de concentración máxima admisible (CMA), de metales pesados en agua para consumo humano.

Fuentes de los metales pesados más frecuentes

Cadmio: presente en industria y productos agrícolas, la población está expuesta al cadmio por diversas vías: Oral, a través del agua y la ingesta de comida contaminada con este elemento (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado). El arroz y las espinacas son dos de esos alimentos que una gran proporción de estadounidenses consumen a lo largo de sus vidas, a menudo comenzando en la infancia; por ejemplo, en forma de cereales infantiles a base de arroz y puré de espinacas. Los niveles medianos/promedio de Cd en el arroz estadounidense encontrados en diferentes estudios e informes de seguimiento no excedieron el estándar de la UE de 40 µg/kg en alimentos para bebés o 200 µg/kg en arroz. Pero los niveles de Cd en las espinacas estadounidenses eran mucho más altos, y todos los valores reportados eran superiores a 100 µg/kg (27).

Plomo: La contaminación por metales pesados como Cadmio (Cd) y el Plomo (Pb) es un problema en los ecosistemas acuáticos, estos metales se encuentran en los desechos sólidos urbanos y en las industrias procesadoras de pescado, la absorción de Pb es un riesgo de salud pública ya que no es necesario para el organismo humano. Al ser ingerido en alimentos y bebidas contaminadas ingresa por el sistema digestivo y una parte pasa a la sangre. Se determinó que la concentración de Pb entre 0,22mg/kg a 0,42mg/kg las mismas que no exceden el límite permisible por la norma general para los contaminantes y toxinas presentes en alimentos INEN 193:2013 de 2,0mg/kg. (28); Se ha calculado que más del 80% del cadmio ingerido proviene de cereales (especialmente arroz y trigo), verduras (de hoja) y raíces (29).

Arsénico: En la naturaleza se encuentra como mineral de cobalto, aunque regularmente está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El principal mineral del arsénico es el FeAsS (arsenopirita) y se usa en tratamiento de maderas, productos agrícolas (pesticidas, herbicidas) bronceadores de piel, anticorrosivos, vidrio, cerámica, pinturas, pigmentos, medicamentos. En alimentación animal como factor de crecimiento, gases venenosos de uso militar, etc (30).

Mercurio: El mercurio es un contaminante químico presente en el medio ambiente. Se transforma a metilmercurio por acción microbiana, siendo esta forma orgánica la más tóxica, ya que es soluble y se acumula en el tejido graso de los animales y personas. Según se avanza en la cadena trófica acuática, el metilmercurio se va acumulando, por lo que los peces depredadores y de mayor tamaño y los mariscos son los alimentos que presentan mayores niveles de este contaminante. El metilmercurio afecta principalmente al sistema nervioso central y atraviesa la barrera hemato-encefálica y la placenta, pudiendo provocar alteraciones en el desarrollo neuronal del feto y de los niños de corta edad (31).

El exceso de mercurio en el suelo afecta la germinación de las semillas, la morbilidad de las plantas y la actividad microbiana. El mercurio en el suelo no sólo afecta a las plantas y los microorganismos, sino que también ingresa al cuerpo humano a través de la cadena alimentaria, el contacto con la piel, la inhalación respiratoria y otros canales de exposición, y pone en peligro la salud humana (32). El Hg se encuentra en el suelo, en el aire y en el agua, y se incorpora, de esta forma, a los ciclos biológicos y pasa a la atmósfera. En el agua y en el suelo, las bacterias metanógenas, a través de un proceso de metilación, transforman el Hg inorgánico en Me-Hg, la forma más tóxica de este metal para los seres vivos. Esta transformación lo hace más lipofílico, por lo cual se acumula fácilmente en la cadena trófica animal y se inicia el proceso de biomagnificación y bioacumulación en los animales superiores, sobre todo, en los peces, importante fuente de Hg, y así la dieta pasa a ser la principal fuente de exposición para el hombre (33). En el caso de las vacas lecheras, si el forraje contiene materiales pesados, esos metales tóxicos se introducen en el animal y finalmente se pasan a su leche (24)El consumo humano de esta carne tóxica podría afectar la salud humana y aumentar el riesgo de amenazas graves a la salud de las poblaciones debido a los efectos adversos nerviosos, metabólicos y cardiovasculares (34), dada la exposición de estos animales a los elementos tóxicos y la entrada de estos elementos en el cuerpo del animal lo que ocurre de varias maneras, incluida la inhalación de aire contaminado o la alimentación con agua y plantas contaminadas.

Para LaPolt, 2021 concluye que, en un mundo donde la protección de los alimentos y sus derivados resulta cada vez más difícil. Acciones para mitigar el daño por metales pesados, incluyen sensibilizar a la comunidad sobre la producción segura de alimentos, intensificar la vigilancia de la calidad del agua, cambios en políticas de producción de carne, aves y mariscos (35).

Efectos en la salud humana

La ingesta dietética de alimentos contaminados es una vía importante de entrada de sustancias químicas tóxicas a los seres humanos además del agua, esto es particularmente inevitable cuando la seguridad y la calidad de los alimentos no se controlan rigurosamente (36), la presencia de metales pesados en los alimentos representa un gran problema para la salud pública, ya que estos elementos causan daños en la salud de los seres humanos, animales y en los cultivos agrícolas. En general en los humanos, los metales pesados interrumpen las funciones del sistema nervioso, el hígado y el riñón, al tiempo que promueven la mutagénesis y la carcinogénesis (24)

La tasa de contaminación del agua puede rondar cerca de los 200 millones de metros cúbicos diarios. Este hecho conlleva un gran número de problemas tanto en la vida de las plantas ya que estos metales acaban depositados en los suelos transportados hasta los mismos por los ríos, como por ejemplo la disminución del crecimiento o el amarillamiento de las hojas (clorosis), como en la vida humana donde los efectos pueden ser erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, cáncer de pulmón, afecciones cardíacas, óseas, testiculares y del sistema nervioso. central y periférica o la muerte (37).

Nuestro cuerpo procesa y utiliza las sustancias necesarias, pero tiene dificultades para deshacerse de aquellas que son extrañas o perjudiciales, lo que resulta en su acumulación y efectos adversos. Esta acumulación se incrementa a medida que ascendemos en la cadena alimentaria o con el paso del tiempo (38). El estrés oxidante es considerado uno de los principales mecanismos de genotoxicidad y carcinogenicidad de los metales pesados (39).

La ingestión de vegetales contaminados con metales pesados causa graves problemas de salud humana, como cáncer gastrointestinal, mecanismos inmunológicos frágiles, retraso del crecimiento mental y desnutrición El factor de transferencia suelo-planta (FT) de metales y metaloides es un criterio importante para evaluar las preocupaciones globales sobre la salud humana. Los peligros para la salud humana están estrechamente relacionados con la ingesta de cultivos alimentarios contaminados con metales. Los metales pesados pueden acumularse en los huesos o tejidos grasos humanos a través de la ingesta dietética, lo que provoca el agotamiento de los nutrientes esenciales y el debilitamiento de las defensas inmunológicas. Se sospecha además que ciertos metales pesados (p. ej., Al, Cd, Mn y Pb) causan retraso del crecimiento intrauterino (40).

Plomo: La exposición al plomo puede provocar síntomas como anorexia, cefalea, estreñimiento, espasmos intestinales y dolor abdominal. Los síntomas neuromusculares incluyen debilidad muscular y fatiga, que pueden avanzar a parálisis en los músculos del antebrazo, muñeca y dedos, así como en los pies, características de la enfermedad de los pintores (42), (43). En niños, la exposición al plomo afecta el desarrollo mental e intelectual, mientras que en adultos puede causar hipertensión y enfermedades cardiovasculares. Este metal se distribuye en riñones, hígado, encéfalo y huesos, donde puede permanecer hasta 20 años, interfiriendo con la función del calcio y causando daño neurológico. La exposición crónica al plomo se asocia con una variedad de problemas de salud, incluyendo convulsiones, ataxia y alteraciones cognitivas, debido a su capacidad para atravesar la barrera hematoencefálica y afectar áreas críticas del cerebro, una vez que el plomo llega al cerebro causa daño en el lóbulo prefrontal, corteza cerebral, hipocampo y cerebelo que conduce a una variedad de trastornos neurológicos, como daño en el cerebro, retraso mental, alteraciones en los nervios, problemas de conducta, Alzheimer, Parkinson, también inhibe los canales de iones NMDA durante el periodo neonatal (44).

También es reconocido como un contaminante tanto ambiental como laboral, las personas están expuestos principalmente en el trabajo, inhalando partículas de plomo o consumiendo alimentos y agua contaminados. Una vez en el cuerpo, el plomo se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal y se transporta rápidamente a la sangre y a los tejidos blandos con una vida media de 28-36 días y luego se acumula en los huesos, causando una serie de efectos adversos en la salud y ocasiona interrupciones endócrinas, genotoxicidad, inhibición de la actividad enzimática, muerte celular y problemas inflamatorios (45). Como se mencionó los niños son potencialmente vulnerables a los efectos tóxicos del plomo, se cree que la exposición a plomo en la infancia aporta 600,000 casos nuevos de niños con alguna discapacidad intelectual y de ellos el 99 por ciento vive en países subdesarrollados. A nivel neurológico, el plomo afecta el sistema nervioso periférico, ya que este se acumula en el espacio endoneural de los nervios periféricos produciendo edema, aumentando la presión y produciendo daño axonal (44), Se calcula que diariamente ingerimos de 0.3 a 0.5 mg de plomo sin estar directamente expuestos a él. Estudios recientes indican que hoy en día hay de 400 a 1,000 veces más plomo en los huesos de la gente que hace 400 años (29).

Arsénico: En humanos la toxicidad crónica con arsénico causa lesiones en piel (queratosis, hiperqueratosis, hiperpigmentación) y lesiones vasculares en sistema nervioso e hígado. Las complicaciones agudas aparecen por exposición a dosis elevadas y pueden ser letales, sus primeros efectos suelen ser fiebre hepatomegalia, melanosis, arritmia cardíaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia (46).

Los síntomas agudos aparecen de tres a cinco días después de exposición a niveles elevados de arsénico, los síntomas incluyen incoordinación, ataxia, transcurridos unos pocos días cerdos y aves pueden aparecer paralizados, aunque seguirán comiendo y bebiendo, también hay ceguera y eritema cutáneo en animales albinos. Los terneros presentan síntomas gastrointestinales. En humanos la toxicidad crónica con arsénico causa lesiones en piel (queratosis, hiperqueratosis, hiperpigmentación) y lesiones vasculares en sistema nervioso e hígado. Las complicaciones agudas aparecen por exposición a dosis elevadas y pueden ser letales, sus primeros efectos suelen ser fiebre, hepatomegalia, melanosis, arritmia cardíaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia (30), (47).

Metilmercurio: La mayor parte del mercurio al que están expuestas estas poblaciones proviene de fuentes lejanas El cerebro es el órgano del cuerpo humano más vulnerable al metilmercurio. Esta vulnerabilidad es mayor durante los períodos de rápido crecimiento cerebral: los nueve meses de embarazo y los primeros años de vida posnatal (48). El cuerpo humano presenta diferencias en su capacidad biológica para metabolizar y eliminar el mercurio, por ejemplo, lo que puede influir en su susceptibilidad a los efectos adversos (31), su concentración anormal en la sangre es $> 4 \mu\text{g/dL}$, sirve como indicador de la absorción y exposición al mercurio en el cuerpo humano (31).

Cadmio: La exposición al cadmio puede resultar en disfunción renal, incluyendo proteinuria e insuficiencia renal crónica, así como en problemas cardiovasculares como arteriosclerosis y aumento de colesterol. Los síntomas de intoxicación aguda incluyen náuseas, vómitos, dolor abdominal y diarrea, mientras que la exposición crónica puede causar enfermedades pulmonares, como enfisema y bronquitis, así como alteraciones óseas y metabólicas. El cadmio también se clasifica como carcinógeno y genotóxico, afectando el desarrollo del sistema reproductor y aumentando el riesgo de cáncer en varios órganos.

4. DISCUSIÓN

La contaminación por metales pesados es un problema ambiental significativo que afecta no solo la salud humana, sino también la de animales y plantas, así como las fuentes hídricas y los suelos. La principal fuente de estos metales proviene de actividades industriales, agrícolas y mineras. En Colombia, se han identificado altos niveles de mercurio en fuentes de agua y arsénico en cultivos, lo que resalta la gravedad de la situación en regiones como Meta, Boyacá y Antioquia. Además, estudios en Bogotá indican que las concentraciones de plomo, zinc y cobre en sedimentos son más altas durante períodos secos en comparación con la lluvia (37) (49).

En Perú, se ha documentado que la exposición a metales pesados tiene efectos crónicos en la salud humana, como se evidenció en un estudio que cuantificó el riesgo cancerígeno asociado a la ingestión de yuca contaminada con arsénico y plomo (50).

En Ecuador, aunque existen regulaciones para garantizar la inocuidad alimentaria, los casos de intoxicación alimentaria siguen siendo preocupantes, especialmente en comunidades que dependen de productos contaminados. En Azuay, las concentraciones de metales pesados son significativamente más altas en áreas mineras (51), (51), (52). En el 2017 Oviedo en su estudio ecuatoriano denominado "Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera" recolectaron datos que muestran las concentraciones de algunos metales pesados no esenciales (Hg, Pb, As, Mg, Zn, Cd), en los cantones Zaruma y Portovelo de la provincia de El Oro, resultando que, el plomo encontrado en los pescados presenta una de las mayores preocupaciones en cuanto a salud se refiere. Los mismos que presentan concentraciones de 0.4 a 1.3 ug/g de peso fresco, y sí los límites de ingestión diaria son del orden de 30 ug, ese límite serio alcanzado con el consumo diario de apenas 30 a 60 gramos de pescado. Además, existen otras vías de exposición de la población al Pb, como el consumo directo de agua del río en las comunidades de Gramadal-Las Vegas, el consumo de productos agrícola, como por ejemplo el café que presenta concentraciones de 8,7 ug/g. (41).

En México, la intoxicación con plomo ha sido una epidemia silenciosa: en 2019 resultó en la pérdida de más de 245 000 años de vida saludable, la gran mayoría de las personas tiene concentraciones relativamente bajas de plomo en sangre, pero al no haberse identificado un umbral por debajo del cual el plomo en sangre no dañe la salud, es en estos casos en donde más se concentra la carga total de la enfermedad atribuible al plomo (53).

Otro estudio describe valores promedio de concentración de plomo en el follaje de las lechugas producidas a cielo abierto es mayor que las producidas bajo invernadero, estos valores están por debajo de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), las características del sustrato suelo, como el pH, el alto contenido de materia orgánica, la concentración del metal plomo, el exceso de Calcio y Fósforo, no permiten una fácil movilidad del Pb en el suelo, por lo que difícilmente las hortalizas absorbieron plomo de este, con lo que se podría considerar que las lechugas no están contaminadas con plomo asociado a vehículos y combustibles (54)

A nivel global, se observa un aumento en la contaminación por metales pesados, especialmente en regiones con prácticas agrícolas y mineras inadecuadas. La colaboración entre agencias reguladoras es esencial para abordar esta problemática; por ejemplo, en Ecuador se están realizando controles para retirar del mercado productos contaminados con plomo (55).

Estudios también han demostrado que el cambio climático puede influir en las concentraciones de metales pesados en el medio ambiente. En Indonesia, se encontró que las altas concentraciones de metales pesados en algas marinas fluctúan según las condiciones climáticas (56). Asimismo, investigaciones en Rumania revelaron niveles alarmantes de cadmio y plomo en cultivos como lechugas y manzanas (57)

La exposición crónica a metales pesados está relacionada con una serie de problemas de salud, incluyendo cáncer y enfermedades hepáticas y renales. El estrés oxidativo es un mecanismo clave detrás de estos efectos adversos. Investigaciones sobre antioxidantes como el resveratrol sugieren que pueden ayudar a mitigar el daño causado por el estrés oxidativo inducido por metales pesados. Sin embargo, aún se debe continuar investigando y regulando las fuentes de contaminación para proteger tanto la salud pública como el medio ambiente (58), (39).

Las evidencias identificaron muy pocos estudios de buena calidad sobre la eficacia de cualquiera de las intervenciones de tratamiento para la exposición al plomo; los quelantes orales, como el succímero, se pueden administrar a los pacientes ambulatorios, lo que ofrece ventajas económicas y prácticas cuando se requieren ciclos largos de tratamiento. El tratamiento bajo observación directa se ha utilizado en un entorno de bajos recursos, pero se deberían realizar más estudios sobre la adhesión al tratamiento en entornos ambulatorios y su relación con los desenlaces (59).

Es por ello por lo que es importante conocer las concentraciones de metales pesados en los productos alimenticios, lo que nos indicaría el riesgo a la salud como consecuencia del consumo de alimentos con altas concentraciones de metales pesados (61). Es necesario realizar investigaciones dirigidas a conocer los factores que nos ayudarán a predecir el nivel de riesgo de diferentes micotoxinas en cultivos básicos y comprender si estos son lo suficientemente resilientes para tolerar las nuevas condiciones provocadas por el cambio climático (62) por ejemplo, es oportuno destacar, la posible existencia de un círculo vicioso entre actividad humana-cambio climático-inseguridad alimentaria-obesidad-actividad humana, que puede mitigarse si se regula a su favor la propia actividad humana (63). La garantía de alimentos sanos es una responsabilidad compartida entre todas las personas que participan en la cadena alimentaria, por lo tanto, la divulgación de conocimientos sobre inocuidad y su relación con el clima y desarrollo sostenible es útil para orientar la aplicación de buenas prácticas y programas de bioseguridad en las unidades de producción pecuaria (64)

Cleveland concluye que la importancia para mejorar los indicadores para bajar el consumo de metales pesados en los alimentos estriba en la demostración de la importancia de la alimentación en los programas de mitigación del cambio climático y la necesidad de tener en cuenta los factores medioambientales en la regulación del sector alimentario (65)

5. Conclusiones

La salud y el clima están interconectados, y la crisis climática amenaza la salud de miles de millones a través de la contaminación del aire, la inseguridad alimentaria y el aumento de enfermedades. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y prácticas sostenibles son cruciales para mitigar estos riesgos. Además, la contaminación por metales pesados en alimentos representa un grave peligro para la salud pública, afectando especialmente a poblaciones vulnerables, lo que requiere estrategias efectivas para su eliminación y una gestión sostenible de los recursos, afecta toda la cadena alimenticia desde el nivel más primario tanto el alimento como el agua que consumen los animales que ingiere el ser humano va a consumir por lo cual la exposición continúa de estos contaminantes va a producir con el tiempo diversas enfermedades en el ser humano por lo cual es importante reducir los niveles de estos contaminantes ya que va a repercutir tanto en la salud como en lo social y económico.

Los metales pesados provienen de fuentes naturales y actividades humanas, como la minería y la incineración, y su dispersión en el medio ambiente se ve exacerbada por el cambio climático. A medida que las temperaturas aumentan, las plantas absorben más metales pesados, que luego son consumidos por los humanos a través de alimentos contaminados, lo que representa un riesgo significativo para la salud pública. Además, estos metales pueden acumularse en la cadena alimentaria y provocar efectos adversos en la salud, especialmente en poblaciones vulnerables.

El cadmio, plomo, arsénico y mercurio provienen de fuentes naturales y actividades humanas, como la minería y la incineración, y su dispersión se ve exacerbada por el cambio climático. Estos contaminantes pueden acumularse en la cadena alimentaria a través de la absorción por plantas y animales, afectando gravemente la salud humana al provocar enfermedades neurológicas, gastrointestinales, renales, así como promover la mutagénesis y la carcinogénesis. La contaminación del agua y del suelo, exacerbada por actividades humanas y el cambio climático, facilita la absorción de estos metales por las plantas, que luego son consumidas por los humanos. Los efectos adversos incluyen erupciones cutáneas, problemas respiratorios, cáncer y déficit del sistema inmunológico, destacando la necesidad de un control riguroso de la calidad de los alimentos para proteger la salud humana.

La exposición crónica puede resultar en complicaciones severas, especialmente en niños y poblaciones vulnerables, resalta la necesidad urgente de implementar medidas de mitigación y vigilancia para proteger la seguridad alimentaria y la salud pública.

6. REFERENCIAS

1. ONU. Organización de las Naciones Unidas. [Online].; S/D [cited 2024 febrero 6. Available from: <https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/health>.
2. Borrego CEP. Cambio climático, inseguridad alimentaria y obesidad infantil. Revista Cubana de Salud Pública. 2019; 45(3).
3. Razo A, Vieyra R. El impacto del cambio climático en los derechos humanos. Comisión de Derechos Humanos del Estado de México. 2023 Febrero; 2(2).
4. Nuñez C. NG. [Online].; 2024 [cited 2024 Julio 2. Available from: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/explicacion-que-son-combustibles-fosiles>.
5. Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria. La FAO analiza los efectos del cambio climático sobre inocuidad de los alimentos [Gencat].; 2020. Available from: <https://acsa.gencat.cat/ca/detall/noticia/La-FAO-analiza-els-efectes-del-canvi-climatic-sobre-innocuitat-dels-aliments>.
6. Smith A,JB,&GC. Impacto del Cambio Climático en la Seguridad Alimentaria: Riesgos y Desafíos Emergentes. Journal of Food Science. 2023; 88(5): p. 1234-1245.
7. Wang X,LY,&ZZ. Alteraciones en los Patrones de Contaminación Alimentaria Relacionadas con el Cambio Climático: Una Revisión. Environmental Pollution. 2022; 285(6): p. 125-148.
8. Nguyen T,TH,&LQ. Acumulación de Toxinas Asociada al Cambio Climático en los Productos Marinos: Riesgos y Estrategias de Gestión. Marine Pollution Bulletin. 2019; 138: p. 101-110.
9. Martínez Alcalá I, Soto J, Lahora A. Antibióticos como contaminantes emergentes. Riesgo ecotoxicológico y control en aguas residuales y depuradas. Ecosistemas. 2020| Agosto; 29(3).
10. Urbina J, Andrea J, Vera Solano JA. Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. Informador Técnico. 2020 Febrero; 84(2): p. 249-263.
11. FAO. La contaminación del sueño una realidad oculta. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. FAO; 2019.
12. ONU. Organización de las Naciones Unidas. [Online].; s/s [cited 2024 febrero 6. Available from: <https://www.un.org/es/climatechange/science/climate-issues/food>.
13. Patel D,SS,&KA. Contaminantes Emergentes en la Cadena Alimentaria: Impacto del Cambio Climático y Estrategias de Mitigación. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2020; 60(18): p. 3010-3032.
14. Aveiga Ortiz AM, Banchón Bajaña CL, Mendoza Cedeño LG, Calderón Pincay , Delgado Moreira M. Distribución de Metales Pesados en Agua, Sedimentos y Peces del Río Carrizal, Ecuador. Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 2022 Julio-Septiembre; 43(3).

15. Ciont C. EA,KA. Beer safety: new challenges and future trends within the crafts and the large -scale production. PUB MED Central. 2022 September; 11(21).
16. Joe W. El cambio climático está cambiando el panorama de la seguridad alimentaria. FAO. 2020 Abril; 02(15).
17. OPS. Análisi de peligros y puntos criticos de control. Guia. Ops.
18. Vivo L abs. [Online].; 2021 [cited 2024 Marzo. Available from: <https://vivolabs.es/intoxicacion-por-metales-pesados-causas-sintomas-y-tratamiento/>.
19. GARCINUÑO R. Contaminación de los alimnetos durante los procesos de origen y almacenamiento. Departamento de Ciencias Analíticas. .
20. Reyes YC,VI,TOE,DLM,&GEE. Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo. 2016; 16(2).
21. Gani K, et al. Emerging contaminants in South African water environment- a critical review of their occurrence, sources and ecotoxicological risks. Chemosphere. 2021; 2(69): p. 1287-37.
22. Armijos OA. Repositorio: Universidad Salsiana. [Online].; 2022 [cited 2024 febrero. Available from: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22984/1/UPS-CT010006.pdf>.
23. Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria. Informe aprobado por el Comité Científico Asesor de Seguridad Alimentaria en mayo de 2021. Gaceta. Barcelona.; 2021.
24. De la Cueva F, Naranjo A, Puga Torres B, Aragón E. Presencia de Metales Pesados en Lecha Cruda Bovina de Machachi, Ecuador. Revista de Ciencias de la Vida. 2021 Agosto; 33(1): p. 21-30.
25. Canales Gutiérrez A, Belizario Quispe G, Chui Betancur , Roque Huanca. Remoción de plomo en suelos contaminados con relaves mineros a través del vermicompostaje. Revista de investigaciones agropecuarias. 2022 Noviembre 16; 48(3): p. 267-273.
26. Pipoyan D, et al. Health risks of heavy metals in food and their economic burden in Armenia. Environ Int. 2023; 1(172): p. 1077-94.
27. Pokharel A, Wu F. Dietary exposure to cadmium from six common foods in the United States. Food Chem Toxicol. 2023; 1(178).
28. Salvatierra Alfago VM. Determinación de Metales Pesados (Cadmio y Plomo) en el Calamar Gigante (*Dosidicus Gigas*) en la Ciudad de Manta, Ecuador. Dominio de las Ciencias. 2022 Enero-Marzo; 8(1): p. 85-98.
29. Diana O, Pablo A. repository.uaeh.edu. [Online].; 2022. Available from: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/herreriana/issue/archive>.
30. Range R. METALES TOXICOS EN ALIMENTOS. Revista del Instituto Nacional de Higiene. 2017; 48(1-2).
31. López Turcios R, Chamizo García. Exposición a la contaminación antropogénica por mercurio y sus efectos en la salud. Revistas de Ciencias Ambientales. 2023 Junio 30; 57(2): p. 1-24.

32. Liu S, et al. Status and environmental management of soil mercury pollution in China: A review. *J Environ Manage.* 2021; 1(277): p. 111-442.
33. Gaiolia GM, González DE, Areny G, Grela M, Amoedo D. Heavy metals in the environment: Guillain-Barré like syndrome. *Sociedad Argentina de Pediatría.* 2020 Febrero; 118(1).
34. Emami , Saberi , Mohammadzadeh , Fahim , Abdolvand M, Ehsan Dehkord SA, et al. A Review of Heavy Metals Accumulation in Red Meat and Meat Products in. *ELSEVIER.* 2023 MARCH; 86(100048): p. 13.
35. LaPolt D. Influence of Climate Change on Food Safety. *CFAES /Ohio State University Extension.* 2021 december; 01(01).
36. Mugume H, et al. Deposition, Dietary Exposure and Human Health Risks of Heavy Metals in Mechanically Milled Maize Flours in Mbarara City, Uganda. *J Xenobiot.* 2023; 13(3): p. 298-311.
37. Pabon S, Benítez R, Sarria R, y , Gallo J. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Scielo.* 2021;: p. 9-18.
38. Mariné , Vidal MC. Alimentación, Salud y Medio Ambiente. In Gomes Alvim , Castellanos Amo H, Hidalgo López C. *Lineamientos de la ecología humana.* Barquisimeto: Carlos Giménez Lizarzado; 2022.
39. Tonancy M, al e. El papel del resveratrol sobre el estrés oxidante inducido por metales pesados. *Nutricion Hospitalaria.* 2020 Marzo; 37(2): p. 374-383.
40. Kumar Rai , Soo Lee , Zhangc , Tsang , Kim KH. Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and. *ELSEVIER.* 2019 ABRIL; 125(365-385): p. 21.
41. Oviedo R. Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a. *Bionatura.* 2017.
42. LL, PL, Fabian Muñoz. LOS RIESGOS DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD HUMANA Y ANIMAL. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 2016 Julio-Diciembre; 14(2).
43. Los Riesgos de los Metales pesados en la salud Humana. *Biotecnologia en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 2016 Jul/Dec; 14(2).
44. Torre MEMdl, Estrada CAR, Ramírez DRdC, Lozano JGF. Efectos a la salud ante exposición de metales pesados en niños. *Ibn Sina –Revista electrónica semestral en Ciencias de la Salud.* Volumen 11, Número2. 2020;: p. 1-8.
45. Rivera K, Pernía. Determinación de los niveles de plomo en sangre en trabajadores de fábricas de baterías ubicadas en Guayaquil-Ecuador. *Enfoque UTE: Scientific Engineering Journal.* 2021 Abril 5; 12(2): p. 1-18.
46. YR, IV, OT. CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo.* 2016 Juilio-Diciembre; 16(2).
47. Bayona-Penagos LV. Efecto y mitigación de la toxicidad por arsénico y cadmio en cultivo de arroz. 2020 Mayo; 6(2).

48. J Landrigan , J. Stegeman J, E. Fleming , Denis A, Anderson , Backer , et al. National library of medicina. [Online].; 2020 [cited 2024 01 12. Available from: https://www.ncbi.nlm.nih.gov.translate.googleusercontent.com/translate/pmc/articles/PMC7731724/?x_tr_sl=es&x_tr_tl=en&x_tr hl=es&x_tr_pto=wapp.
49. Zafra M, Beltran V, Peña H. contaminación y salud pública en hábitats urbanos: metales pesados en sedimentos viales de Bogotá, Colombia. EIA. 2020;; p. 1-15.
50. Pinzón-Bedoya CH PBMPHJUCIMNJ. Piassessment of Potential Health Risks Associated with the Intake of Heavy Metals in Fish Harvested from the Largest Estuary in Colombia. Environ ResPublic Health. 2020 Abril; 23(7).
51. Ulloa JO AEAAMS. Revisión sistemática de estudios sobre inocuidad alimentaria en Cuenca, Ecuador, periodo 1981-2017. Segurança Alimentar e Nutricional. 2020 julio 16; 27(e020024): p. 1-12.
52. Vázquez J, Sangurima C, Alvarez-Vera M. Concentraciones de plomo (Pb) en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) en Azuay, Ecuador. 2019 Julio; 10(3).
53. Rojas-Bracho L, Farías-Serra P, Santos-Burgoa C, Talayero MJ. Epidemia de intoxicación por plomo: su atención desde las normas oficiales mexicanas para proteger la salud de la población. 2023; 13(65): p. 543.
54. Patarroyo CEG, Ochoa DAR. Sobre la relación entre el consumo de leche cruda y la salud humana: Una revisión sistemática. 2020 Diciembre; 30(2).
55. Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria. Alertas Arcsa - Alimentos. [Online].; 2023 [cited 2024 Marzo. Available from: <https://www.controlsanitario.gob.ec/arcса-alerta-sobre-productos-contaminados-por-altos-niveles-de-plomo-actualizacion-de-alerta-emitida-el-06-11-2023/>.
56. Raza'i TS TNAVPHPPIFTFIA. Accumulation of essential (copper, iron, zinc) and non-essential (lead, cadmium) heavy metals in *Caulerpa racemosa*, sea water, and marine sediments of Bintan Island, Indonesia. PUB MED Central. 2021 July 30; 01(34).
57. Trincă ECSyLC. Heavy Metals in Foods and Beverages: Global Situation, Health Risks and Reduction Methods. Foods. National library of medicine. 2023 September; 6(12).
58. Octavio-Aguilar P, Olmos-Palma DA. Efectos sobre la salud del agua contaminada por metales pesados. Publicación semestral, Herreriana, Vol. 4, No. 1. 2022;; p. 43-47.
59. OMS. Organización Mundial de la Salud. [Online].; 2024 [cited 2024 agosto. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK581806/#ch9.s3>.
60. Braulio R. UG Repositorio Institucional. [Online].; 2020. Available from: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/495509e3-c0b1-48c8-b445-70f108cd71b0>.
61. Sanchís Almenar V. Cambio climático y micotoxinas ¿Sabemos lo suficiente? Revista de ACTA/CL. 2021 Mayo; 191(75): p. 10-15.

62. Piña Borrego C. Cambio climático, inseguridad alimentaria y obesidad infantil. Rev Cubana Salud Pública. 2020 Enero; 45(3).
63. Márquez-Araque A. Sistemas pecuarios. Notas sobre inocuidad alimentaria, desarrollo sostenible y cambio climático. Revista científica Agroindustria, Sociedad Y Ambiente. 2020 Mayo; 1(16).
64. NG. National GeographHC. [Online].; 2021 [cited 2024 febrero 3. Available from: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/asi-afecta-alimentacion-cambio-climatico_11271.
65. Moreno L, Navarro G, Velasco LV, Corderol AR, González JM. Contaminación y hongos: resistencia a metales pesados. LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades. 2022;; p. 215–232.