



CONTAMINACIÓN DE ALIMENTOS POR PLOMO EN COLOMBIA Y TECNOLOGÍAS PARA SU MANEJO AMBIENTAL

FOOD CONTAMINATION BY LEAD IN COLOMBIA AND TECHNOLOGIES FOR ITS ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Luz Adriana Vargas Mendoza¹

María Eugenia Buitrago González²

Luis Carlos Villegas Méndez³

¹Especialista en Gestión Ambiental, Unidad Central del Valle del Cauca, Tuluá-Colombia. luz.vargas01@uceva.edu.co

²Magíster en Educación, Universidad del Valle, Cali-Colombia. mbuitrago@uceva.edu.co

³Magíster en Estudios Biológico-Naturistas y homeopatía, Universidad de León, España. lvillegas@uceva.edu.co

Citación: Vargas, L., Buitrago-González, M., y Villegas, L. (2025). Contaminación de Alimentos por plomo en Colombia y Tecnologías para su Manejo Ambiental. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16(1), 247 - 279. <https://doi.org/10.22490/21456453.7273>

RESUMEN

Contextualización: el plomo es un metal pesado que se encuentra presente en el ambiente de forma natural o producto de actividades industriales como la fabricación de baterías, pigmentos para pinturas y la industria electrónica. El aumento en su utilización hace que se generen vertimientos industriales o restos de fertilizantes que contienen este metal, provocando así la contaminación de las fuentes hídricas y el suelo. Estos, al ser utilizados para el riego o como terrenos de cultivo, llegan a los alimentos, llevando a problemas para la salud y el ambiente debido a su capacidad de bioacumulación.

Vacío de conocimiento: la creciente utilización de plomo representa un problema global con impactos ambientales y sanitarios significativos. Se requiere compilar datos que demuestren los efectos de la contaminación por plomo en alimentos y desarrollar tecnologías de manejo ambiental pertinentes.

Propósito del estudio: evaluar los impactos del plomo en alimentos de Colombia y proponer tecnologías de mitigación ambiental.

Metodología: revisión sistemática mediante búsqueda de información a través de bases de datos como SciELO, Scopus, Redalyc, GALE, Science Direct, PubMed y entidades estatales, entre el periodo de 2015 hasta 2023. Como palabras clave se emplea-

ron los términos: plomo, contaminación, alimentos contaminados, tecnologías y plomo en Colombia. Se incluyeron artículos publicados en inglés y español, donde se evidenciarán los efectos del plomo en los alimentos y medidas de control empleadas en casos de contaminación con este metal. Esta metodología se fundamentó en las etapas delineadas en la guía PRISMA.

Resultados y conclusiones: en Colombia se reportó plomo en alimentos para bebés, arroz importado de Ecuador, panela, papas frescas, leche de bovino, fresas y carne de ganado bovino. La contaminación se atribuye a diversas fuentes como el uso de suelos con presencia de metales pesados, minería ilegal, agua de riego con restos de fertilizantes y pesticidas, reciclaje de baterías de plomo-ácido y uso excesivo de agroquímicos. La mayoría de los departamentos del país registran contaminación por plomo.

Entre los efectos de la contaminación por plomo en la salud se encontraron daños en los sistemas nervioso, cardiovascular, renal y hematológico. En el ámbito neurológico, este metal afecta especialmente el desarrollo del sistema nervioso central en niños y fetos, causando retraso en el desarrollo cognitivo, disminución del coeficiente intelectual, trastornos del comportamiento, hiperactividad y problemas de atención. Además, puede ocasionar daño renal, manifestado como ne-

fropatía por plomo, comprometiendo la función renal y llevando a la insuficiencia renal.

Las tecnologías destinadas a prevenir la ingesta de plomo a través de los alimentos se basan en el tratamiento de suelos y fuentes de agua contaminados. Se destacan dos tec-

nologías efectivas para la descontaminación del plomo: la fitorremediación y biorremediación.

Palabras clave: biotecnología, contaminación alimenticia, impacto ambiental, metal pesado, plomo, salud

ABSTRACT

Contextualization: Lead is a heavy metal that is present in the environment naturally or as a product of industrial activities such as the manufacture of batteries, paint pigments, and the electronics industry. The increase in its use causes industrial discharges or remains of fertilizers that contain this metal to be generated, thus causing contamination of water sources and soil. These, when used for irrigation or as a crop land, reach food, leading to health and environmental problems due to their capacity for bioaccumulation.

Knowledge gap: The increasing use of lead represents a global problem with significant environmental and health impacts. It is necessary to compile data that demonstrate the effects of lead contamination in foods and develop relevant environmental management technologies.

Purpose: Evaluate the impact of lead on Colombian foods and propose environmental mitigation technologies.

Methodology: Systematic review by searching for information through databases such as SciELO, Scopus, Redalyc, GALE,

Science Direct, PubMed and state entities, between the period from 2015 to 2023. The terms: lead, contamination, food was used as keywords. Contaminated, technologies and lead in Colombia. Articles published in English and Spanish were included, which will demonstrate the effects of lead in food and control measures used in cases of contamination with this metal. This methodology was based on the stages outlined in the PRISMA guide.

Results and conclusions: In Colombia, lead was reported in baby food, rice imported from Ecuador, panela, fresh potatoes, bovine milk, strawberries, and bovine meat. Pollution is attributed to various sources such as the use of soils with the presence of heavy metals, illegal mining, irrigation water with traces of fertilizers and pesticides, recycling of lead-acid batteries and excessive use of agrochemicals. Most departments in the country register lead contamination.

Among the health effects of lead contamination were damage to the nervous, cardiovascular, renal, and hematological systems. In the neurological field, this metal espe-

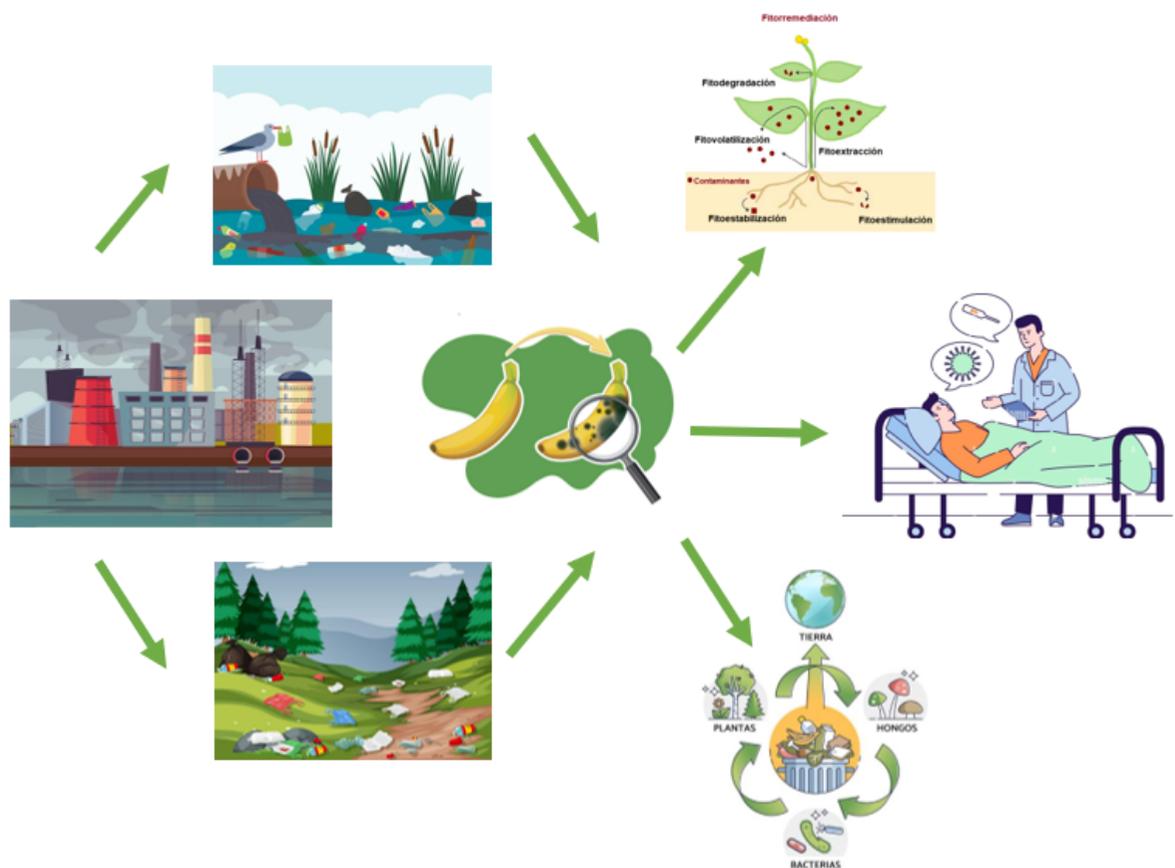
cially affects the development of the central nervous system in children and fetuses, causing delayed cognitive development, decreased IQ, behavioral disorders, hyperactivity, and attention problems. Additionally, it can cause kidney damage, manifested as lead nephropathy, compromising kidney function, and leading to kidney failure.

Technologies aimed at preventing lead ingestion through food are based on the treat-

ment of contaminated soil and water sources. Two effective technologies stand out for lead decontamination: phytoremediation and bioremediation.

Keywords: biotechnology, environmental impact, food contamination, health, heavy metal, lead

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: autores.

1 INTRODUCCIÓN

Por más de 9000 años, el plomo (Pb) ha sido uno de los metales de mayor empleo por parte de la humanidad (Rivera y Pernia en 2021). Aunque este metal existe de forma natural en el entorno, el aumento de la actividad industrial ha provocado su conversión en un contaminante dado su potencial para bioacumularse en seres vivos y ecosistemas. (Guanoliqún, 2021; Khanam *et al.*, 2020). La peligrosidad de la contaminación por plomo no solo se presenta por la exposición de los trabajadores ante este, sino también por la contaminación ambiental que genera en el agua, aire o suelo. Por tanto, la toxicidad por plomo resulta directamente proporcional al desarrollo industrial (Rodríguez *et al.*, 2016).

Las concentraciones de plomo presentes en el ambiente de forma natural no constituyen una fuente de contaminación ambiental. Es por ello que, entre las principales fuentes antropogénicas se destacan actividades como la fabricación de baterías, aditivo en la gasolina, industria electrónica y de cómputo, revestimiento de cables y tuberías, pigmentos para pinturas, soldaduras, entre otros (García *et al.*, 2018).

Las vías de exposición a este metal varían dependiendo de la actividad que se realice, dentro de estas se encuentran la inhalación de partículas, el contacto con elementos que contengan plomo o la ingesta de agua y alimentos contaminados, siendo esta última una de las más comunes (Ikechukwu *et al.*, 2022). Entre los principales factores que contribuyen a la contaminación de los ali-

mentos por plomo está el agua de riego contaminada con sustancias provenientes de vertimientos industriales o restos de fertilizantes (Vitola *et al.*, 2022); Augustsson *et al.*, (2023) además, Su *et al.*, (2023) plantean que otra forma de contaminación de alimentos como la lechuga, perejil, acelga y col risada, es ocasionada por la contaminación atmosférica, como la adhesión de partículas de plomo. Salas *et al.* (2019), hacen referencia a la detección de plomo en jugos de caña, tomate, piña, yuca, papa, fresa, toronja y guayaba que debido a su tendencia a acumularse en las partes comestibles, puede dar lugar a cuestiones de salud tanto en seres humanos como en animales.

Es relevante destacar que el plomo no solo se encuentra en las actividades previamente mencionadas, también puede estar presente en los envases de alimentos procesados y utensilios de cocina, como ollas y platos, que están fabricados con materiales que contienen plomo (Ortiz, 2023). Estos utensilios representan una fuente de exposición cuando se utilizan para almacenar alimentos. Por otro lado, una forma común de riesgo ocurre debido al uso inapropiado o la falta de equipo de protección personal por parte de los trabajadores involucrados en la aplicación de pinturas y esmaltes que contienen este metal pesado, lo que lleva a su inhalación. (García *et al.*, 2016). Cuando este metal ingresa al organismo se distribuye en los riñones, hígado, encéfalo y huesos debido a su similitud con el calcio (Azcona *et al.*, 2015); el mayor depósito de plomo son

los huesos, en ellos puede permanecer hasta por 20 años e interfiere con las funciones del calcio, ocasionando problemas en la salud (Londoño-Franco *et al.*, 2016).

Por ende, la contaminación por plomo es considerada un problema de salud pública a nivel global, según información proporcionada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) citada por Salas *et al.*, (2019), se reportó que 494.550 personas perdieron la vida debido a la exposición al plomo en el año 2015, siendo los niños la población más afectada. Una concentración de tan solo 10 $\mu\text{g}/\text{dL}$ puede requerir la hospitalización inmediata. La presencia del plomo en el cuerpo afecta diversos sistemas, incluyendo el nervioso, cardiovascular, renal, sanguíneo y gastrointestinal.

La Organización Mundial de la Salud, (OMS, 2022) menciona que no hay niveles de plomo en la sangre que se consideren seguros para la salud. Incluso una concentración de tan solo 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ puede tener efectos perjudiciales en el sistema cognitivo, causar dificultades de aprendizaje y alterar el comportamiento de los niños. Por lo tanto, a medida que aumenta el nivel de exposición al plomo, también acrecientan los efectos negativos asociados.

El plomo destaca como uno de los metales pesados más ampliamente utilizados en la industria debido a sus propiedades distintivas. Se ha puesto en manifiesto los daños causados por su toxicidad y su presencia en determinados alimentos. Como señala Reyes *et al.* (2016), en varias regiones de la India se emplea agua contaminada con plomo para el riego de los cultivos, lo que da lugar a un

incremento en las concentraciones de este metal en el suelo. Como resultado, el riesgo de acumulación de plomo en los alimentos y en los organismos aumenta de manera significativa. Aunque los estudios realizados en estos sitios de la India han revelado niveles por debajo de los límites establecidos, es esencial tenerlos en consideración y llevar a cabo análisis continuos. Esto es debido a la capacidad de bioacumulación de este metal en los seres vivos, lo cual afecta toda la cadena trófica.

Según Calao y Marrugo (2015), la exposición de los organismos al agua contaminada con plomo disminuye las actividades antioxidantes en órganos vitales como el riñón, el hígado y el cerebro, indicando un aumento en el estrés oxidativo. Esto subraya la importancia, como menciona la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), de comprender cómo el plomo afecta los sistemas biológicos y su impacto a largo plazo en la salud y el medioambiente. Además, resalta la necesidad de investigar los mecanismos precisos del efecto del plomo en la función antioxidante de órganos y tejidos, para desarrollar estrategias que mitiguen sus efectos negativos en la salud pública y los ecosistemas naturales (Calao y Marrugo, 2015).

A nivel latinoamericano, en la ciudad de Torreón, México, se detectó intoxicación por plomo en niños, resultado directo de la actividad industrial en la región. El plomo, entró en contacto con el entorno local y, a través de procesos naturales y humanos, se incorporó en la cadena trófica, lo que significa que se propagó desde el suelo y el agua hasta los cultivos y, en última instancia, a los

seres humanos que consumieron esos alimentos contaminados (Reyes *et al.*, 2016).

La contaminación por plomo, originada por la actividad industrial, puede tener consecuencias graves en la salud pública. Además, se destaca la importancia de la regulación y control de las emisiones industriales, así como de la implementación de prácticas agrícolas seguras, para prevenir la acumulación de metales pesados en los alimentos y su impacto perjudicial en la salud de las comunidades locales. Es fundamental que las autoridades tomen medidas proactivas para abordar estos problemas y salvaguardar la salud al igual que el bienestar de las poblaciones afectadas (Rodríguez *et al.*, 2016).

En Ecuador se detectó plomo en cultivos de arroz en áreas cercanas a la cuenca del río Guayas. Se hallaron concentraciones de 4,35 mg/kg, superando los límites establecidos en dicho país (Romero, 2020). La presencia de plomo en los alimentos no se limita a los producidos de forma natural, también se encuentra presente en productos alimentarios elaborados por la industria, como es el caso del chocolate en polvo. Dado su alto consumo en Ecuador, podría representar una causa importante de intoxicación a largo plazo (Zambrano, 2020). De la misma manera, según Narváez *et al.*, (2020), en la ciudad de Tulcán, Ecuador, se observaron cambios emocionales, disminución de habilidades y destrezas, depresión y tristeza sin causa aparente, en carpinteros dedicados a actividades como fundición, reciclaje inseguro y al uso frecuente de pinturas o gasolina, la cual contiene plomo.

Según la Organización Mundial de la Salud (2022), en Senegal y Nigeria los niños están constantemente expuestos a tierras y polvos contaminados por plomo, generados por la minería y el reciclaje de baterías. Estos contaminantes causan intoxicaciones masivas y han resultado en múltiples muertes. Tanto la Organización Mundial de la Salud como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible han establecido niveles de peligro relacionados con la presencia de plomo y otros metales pesados en el agua potable y los alimentos. Sin embargo, se ha detectado la presencia de concentraciones significativas de plomo que exceden los límites establecidos. Es fundamental recordar que todas las concentraciones de metales pesados, en este caso el plomo, pueden tener efectos adversos en el organismo por su capacidad de bioacumulación en los tejidos (Hon *et al.*, 2017).

En Colombia es frecuente que los trabajadores del sector informal estén expuestos al plomo, debido al aprovechamiento de manera inadecuada e ilegal de las baterías para fundición de rejillas, soldaduras y otros procesos. Esto ocasiona problemas de salud pública y ambiental, que son la principal causa de morbilidad. En el sector informal del reciclaje de baterías en Cundinamarca, se determinó que la intoxicación por plomo se debe a niveles elevados de exposición, ausencia de equipos de protección personal y falta de conciencia sobre las afectaciones en la salud que puede provocar este tipo de contaminación; a su vez se resaltó la importancia de la higiene y el consumo de alimentos dentro de lugares establecidos y que no interfieran con la inocuidad de los víveres (Díaz *et al.*, 2022).

Otra de las vías principales de exposición al plomo en Colombia surge de la contaminación de ríos y lagunas. Según lo indicado por Reyes *et al.* (2016), se detectaron niveles elevados de este metal en diferentes cuerpos de agua, como los ríos Bogotá, Marmato, Achi y Cauca, así como en las localidades de La Pintada y Pinillos. Además, Lizarazo *et al.* (2020) señalan la presencia de plomo en alimentos cultivados en proximidad a la represa de Muña, la cual recibe el agua del río Bogotá. Estos hallazgos evidencian la contaminación por plomo en estas zonas, resaltando la importancia de llevar a cabo investigaciones en las comunidades circundantes para evaluar los posibles impactos en la salud derivados del consumo de alimentos y agua provenientes de estas fuentes.

Por otra parte, como lo indican Calao y Marrugo, (2015) en la región de la Mojana, que comprende once municipios de los departamentos de Bolívar, Córdoba, Antioquia y Sucre, se encontraron concentraciones elevadas de plomo y otros metales pesados en la sangre de la población expuesta. Estas concentraciones variaron entre 36,1 $\mu\text{g/L}$ y el valor máximo registrado de 52,46 $\mu\text{g/L}$, superando los límites permitidos. Según los estándares de la Organización Mundial de la Salud, los niveles a partir de 5 $\mu\text{g/L}$ se consideran altos, siendo el valor máximo permitido de 10 $\mu\text{g/L}$.

Se debe tener en cuenta que estas poblaciones se alimentan de pescado y arroz producido en la zona. Aunque actualmente no se hayan realizado estudios para determinar el plomo en el agua y los diferentes alimentos del territorio, los resultados de esta

investigación muestran que el consumo de alimentos contaminados es una de las principales fuentes de intoxicación por plomo. Esto es debido a dos factores importantes del lugar: las inundaciones del río Cauca que transportan sustancias tóxicas de actividades industriales y mineras, y la presencia de fertilizantes y plaguicidas con metales pesados en los cultivos de arroz. La exposición al plomo en la población no está vinculada a la ocupación laboral, sino al riesgo ambiental y el consumo de alimentos contaminados, lo cual resalta la necesidad de tomar medidas para reducir esta exposición y promover prácticas agrícolas y de pesca más seguras en la zona (Calao y Marrugo, 2015).

Vega Clavijo y Vega Castro, (2021), muestran que existe presencia de plomo en el suelo y la lechuga cultivada en huertos urbanos de la ciudad de Bogotá; para el caso del suelo este arrojó en promedio 24,27 ppm/Pb, en un rango entre 0 y 110 ppm/Pb, el cual presenta valores normales comparados con los valores de la EPA, citada por los mismos autores, en la que el plomo en suelos de uso agrícola e industrial puede estar entre los 400 y 1200 ppm. Para el caso de la lechuga, esta también presenta niveles por debajo de los límites establecidos por la normatividad colombiana. A pesar de que el contenido de plomo no supera los límites establecidos, es importante estar en constante monitoreo, debido a que como ya se sabe, el plomo tiene la capacidad de acumularse en el organismo y al estar en constante consumo de estos alimentos podría reflejarse en diferentes problemas de la salud en dichas poblaciones.

En la región del Magdalena Medio, donde las principales actividades económicas son la industria petroquímica y la agropecuaria, se detectaron metales pesados como el plomo, los cuales tienen un impacto negativo en los pastos de las especies del género *Brachiaria* (*B. humidicola* y *B. decumbens*), dado que presentan bioacumulación en sus estructuras y ocasionan la incorporación de este metal pesado en la cadena trófica por medio del ganado que consume estos pastizales (Peláez *et al.*, 2016); y los habitantes de este lugar, al consumir su carne o leche, se encuentran expuestos a sufrir problemas de salud (Castro *et al.*, 2018).

Las especies vegetales no son los únicos alimentos que presentan contaminación por plomo en Colombia, Figueroa *et al.* (2017) al igual que Vergara y Rodríguez (2015), revelan que en la laguna de Sonso, ubicada en el municipio de Buga y en la cuenca alta del río Chicamocha, específicamente en la vereda Volcán – Paipa, la especie *Oreochromis niloticus* (tilapia de Nilo) exhibe cambios en sus tejidos que son indicativos del daño causado por contaminantes ambientales como el plomo; adicionalmente se descubrió que los órganos internos de esta especie contienen este metal, aunque los niveles detectados no sobrepasan los límites permitidos por la normativa colombiana. Sin embargo, es evidente que hay un proceso de bioacumulación, lo cual podría representar un problema significativo para la salud de las personas y el medioambiente.

Aunque en ciertos casos se han establecido límites máximos permisibles para la concentración de plomo en alimentos en Colombia,

es esencial mantener una supervisión rigurosa. Esto se debe a que en la mayoría de los estudios realizados se ha confirmado la existencia de este metal pesado en la comida. Sin embargo, en algunas investigaciones aún no se ha establecido de manera definitiva cuál es el impacto que estas cantidades específicas pueden tener en la salud humana y en el entorno ambiental. Por tanto, la importancia de llevar a cabo análisis exhaustivos y continuos radica en garantizar la seguridad alimentaria y ambiental, así como en comprender plenamente las implicaciones a largo plazo de la presencia de plomo en los alimentos.

Por lo anterior, y de acuerdo con el Ministerio de Salud y Protección Social (2021), la exposición al plomo conlleva a consecuencias económicas significativas tanto para las poblaciones afectadas como para la sociedad en su conjunto. Estos costos engloban gastos médicos vinculados al tratamiento de la intoxicación por este metal pesado, los desembolsos asociados a la necesidad de educación especial debido a la disminución intelectual inducida por este metal, así como pérdidas de productividad que resultan de la disminución de los ingresos a lo largo de la vida de aquellos afectados. De igual manera, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF, 2020), establece que la exposición infantil al plomo conlleva un impacto económico de alrededor de 1 billón de dólares en países de ingresos bajos y medios, resultado de la reducción del potencial económico de esta porción de la población.

Por lo tanto, ante esta problemática, autores como Zapata-Muñoz *et al.* (2018) mencionan la importancia de determinar

las principales fuentes que provocan la presencia de plomo en la producción y manejo de alimentos en Colombia, comprender sus efectos, y fomentar el uso de tecnologías que ayuden a reducir la contaminación por plomo. Todo esto es necesario para proteger al ambiente y la salud de las poblaciones.

A partir de lo expuesto esta investigación tuvo como objetivo evaluar los impactos

del plomo en alimentos de Colombia y proponer tecnologías de mitigación ambiental. Estas propuestas no solo tienen la intención de reducir los riesgos para la salud de los consumidores, sino también de proteger la integridad del ecosistema y la seguridad alimentaria en el país, reflejando un enfoque proactivo hacia la gestión sostenible de esta problemática.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio corresponde a una revisión sistemática (enmarcada en una investigación de tipo documental) que analizó la presencia de plomo en los alimentos en Colombia, al mismo tiempo que identificó los impactos en la salud y el entorno.

Protocolo

Para la recopilación de información, se llevó a cabo una búsqueda a través de instituciones como la Organización Mundial de la Salud, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, y el Ministerio de Salud y Protección Social, así como en diversas bases de datos, entre las que destacan SciELO, Scopus, Redalyc, GALE, Science Direct, PubMed, Ambientalex y trabajos de grado, entre otras fuentes pertinentes. Se estableció una restricción de idioma que incluyó tanto fuentes en inglés como en español, priorizando especialmente aquellos estudios realizados en Colombia. No obstante, se consideraron igualmente las técnicas y tecnologías aplicadas en otras regiones que

podieran ser adaptadas al contexto de estudio. El rango de búsqueda abarcó desde 2015 hasta 2023, con el propósito de asegurar la obtención de información actualizada y relevante (Figura 1).

Estrategia de búsqueda bibliográfica

En el proceso de búsqueda de artículos y documentos se consideraron las siguientes palabras clave: “plomo”, “contaminación”, “alimentos contaminados”, “intoxicación”, “tecnologías”, “mitigación” y “plomo en Colombia”. Para la elaboración de la ecuación de búsqueda, se implementó el operador booleano “and” con el fin de optimizar la precisión de los resultados. Una vez establecida esta estrategia, se procedió a llevar a cabo la investigación en varias bases de datos de renombre, entre las cuales se encontraron SciELO, Scopus, Redalyc, GALE, Science Direct, PubMed y Ambientalex. Este proceso integral de búsqueda y selección de

información se realizó con el propósito de obtener un panorama amplio y actualizado de la problemática asociada al plomo en el contexto de la contaminación alimentaria en Colombia.

Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión que rigieron el proceso de selección se sustentaron en la elección de artículos originales que aportaron información sustancial a través de estudios experimentales y de casos concretos, así como investigaciones que propusieron medidas de control. Con el objetivo de acotar y refinar el alcance de la búsqueda, se consideró una limitación de idioma abarcando únicamente trabajos publicados en inglés y español. Asimismo, se estableció un marco temporal definido, comprendido entre los años 2015 y 2023, con el propósito de asegurar que la información recopilada estuviera actualizada y relevante para la temática abordada. En relación con las medidas de control, no se aplicaron restricciones de ubicación geográfica, con el fin de considerar enfoques y soluciones que pudieran ser usados tanto en Colombia como en otros contextos internacionales. Mediante el empleo de estos rigurosos criterios, se aspiró a garantizar la obtención de resultados sólidos y pertinentes que respaldaran el objetivo central de la investigación.

Criterios de exclusión

Durante el proceso de búsqueda y selección de información, se llevaron a cabo criterios rigurosos para garantizar la calidad y

relevancia de los documentos incluidos en el estudio. Se excluyeron de manera sistemática aquellos documentos con fechas de publicación anteriores al periodo de tiempo propuesto, así como artículos que carecían de la disponibilidad de texto completo o que no guardaban relación directa con el tema de estudio. Además, se implementó una estrategia para eliminar cualquier duplicado encontrado en las bases de datos.

En la fase de identificación de los alimentos contaminados por plomo y sus efectos, se aplicó una restricción específica: se excluyeron los estudios que no hubieran sido realizados en Colombia. Esta decisión se basó en la necesidad de seleccionar con precisión las técnicas y tecnologías de mitigación, considerando los focos de contaminación predominantes y los productos alimentarios más susceptibles a la presencia de plomo en el contexto colombiano. Esta estrategia aseguró que las medidas propuestas fueran pertinentes y aplicables a la realidad local, maximizando así la efectividad de las estrategias de mitigación y prevención.

Extracción de datos

Durante la fase de selección de la información, se implementó un enfoque metodológico detallado para garantizar la integridad y relevancia de los datos recopilados. Inicialmente, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de los títulos y resúmenes de los documentos identificados, y posteriormente se aplicaron los criterios predefinidos de inclusión y exclusión para evaluar el contenido completo de cada artículo.

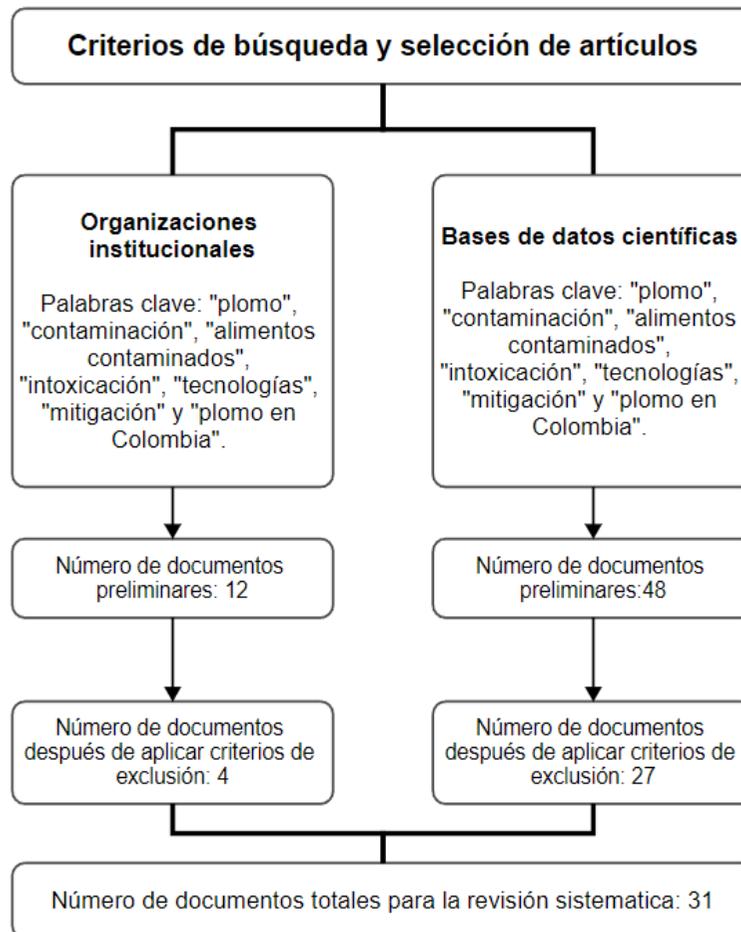


Figura 1. Flujograma de búsqueda y elección de documentos para la revisión basado en las etapas delineadas en la guía PRISMA

Fuente: autores.

La organización y sistematización de la información obtenida se estructuró cuidadosamente para asegurar su manejo eficiente y análisis efectivo. Se empleó una base de datos en formato Excel, en la cual se registraron de manera ordenada los alimentos identificados con presencia de plomo, los niveles específicos de plomo detectados, los valores permisibles establecidos, las fuentes de contaminación involucradas y las técnicas de tratamiento aplicadas. Esta estructura permitió conseguir una visión clara de los alimentos más afectados por la contaminación y sus principales fuentes de origen, ya

sea a través del suelo, agua u otros procesos de producción.

Adicionalmente, se procedió a mapear la información recopilada sobre los alimentos contaminados por plomo en Colombia. Mediante la representación visual en un mapa, se logró identificar de manera geográfica las áreas afectadas y la magnitud de los casos encontrados en cada departamento. Para facilitar la interpretación, se asignaron colores específicos a diferentes rangos de casos, lo que proporcionó una perspectiva rápida y

clara de la distribución de la contaminación por plomo en el país.

En un enfoque más analítico, se priorizó el análisis de las actividades más recurrentes en Colombia, como la minería y el reciclaje de baterías de plomo-ácido, que se destacan por ser prácticas relevantes y a la vez preocupantes en términos de contaminación. A partir de esta focalización, se elaboró una matriz de identificación y valoración de impactos ambientales. Este enfoque permitió evaluar en detalle los efectos resultantes de la contaminación y la intoxicación por plomo derivados de estas prácticas, contribuyendo así a una comprensión más profunda de las consecuencias ambientales y de salud asociadas a estos procesos en el contexto colombiano.

El análisis de las actividades seleccionadas fue realizado utilizando la metodología propuesta por Vicente Conesa en 1997. En este enfoque, se evaluaron las distintas ac-

tividades vinculadas a cada fuente de contaminación en términos de su impacto en el medioambiente y la sociedad. Esta evaluación se fundamentó en la consideración tanto de aspectos cuantitativos como cualitativos de los efectos de cada actividad, tanto en el contexto de la minería como en el del reciclaje de baterías de plomo-ácido.

Cada criterio y sus opciones se asignaron a un valor numérico que permitió medir cuantitativamente el impacto generado y su importancia. El resultado final se obtuvo sumando los valores de todos los criterios evaluados para cada impacto, excepto la Magnitud, que se multiplicó por 3, y la Cobertura, que se multiplicó por 2. Estas ponderaciones reflejaron la importancia relativa de estas variables en la evaluación final del impacto, teniendo en cuenta los criterios que se muestran en la Tabla 1 y el resultado se obtendrá a partir de la Ecuación 1.

$$\text{Importancia(IMP)} = CA * (3MG + 2EXT + DUR + REV + REC + PE + TD + TP + PO)$$

(Ecuación 1)

Con este resultado se obtuvieron calificaciones Irrelevante (< -25), Moderado (-25 a <-50), Severo (-50 a -75) y Crítico (> -75), esto permitió clasificar los impactos e iden-

tificar las etapas en las que se requiere implementar medidas de tipo preventivas o correctivas para contribuir a la disminución de los efectos de la contaminación por plomo.

Tabla 1.

Criterios de evaluación para el cálculo de la importancia

| Criterios | Rangos |
|---------------------------------|--|
| Carácter (CA) | Positivo o negativo |
| Magnitud (MG) | Bajo (1) - medio (4) - alto (8) |
| Probabilidad de ocurrencia (PO) | |
| Tendencia (TD) | Simple (1) - Acumulativo (2) |
| Tipo (TP) | Indirectos (1) - directos (2) |
| Extensión (EXT) | Puntual (1) – local (4) – regional (8) |
| Duración del impacto (DUR) | Efímero (1) tiene una duración menor a un año |
| | Transitorio (4) en un período entre 1 a 3 años |
| | Persistente (8) se encuentra entre 4 y 10 años |
| | Permanente (12) dura más de 10 años o es indefinida |
| Reversibilidad (REV) | Corto plazo (1) puede revertirse en menos de 1 año |
| | Mediano plazo (4) puede revertirse en un período de 1 a 3 años |
| | Largo plazo (8) puede revertirse en un período de 4 a 10 años |
| | Irreversible (12) no puede ser revertido |
| Recuperabilidad (REC) | Corto plazo (1) presenta una recuperación natural inferior a 2 años |
| | Mediano plazo (4) la recuperación natural ocurre en un periodo de tiempo que oscila entre 2 a 6 años |
| | Largo plazo (8) se trata de una recuperación natural que requiere un período de 6 a 15 años |
| | Irreversible (12) no es posible una recuperación natural |
| Periodicidad (PE) | Irregular o esporádico (1) |
| | Periódico (4) |
| | Discontinuo (8) |
| | Continuo (12) |

Estos son los criterios que se tienen en cuenta para realizar el cálculo de la importancia, teniendo en cuenta sus rangos de calificación

Fuente: autores.

Finalmente, en la selección de las tecnologías se elaboraron tablas de datos que contenían el título de la investigación, los autores, el nombre de la técnica o tecnología utilizada, el tipo de investigación, el lugar de aplicación y una breve descripción de las características de la tecnología. Además, se realizó una evaluación de cada una de las técnicas y tecnologías identificadas, tomando en consideración los siguientes criterios: facilidad de implementación, eficiencia en términos porcentuales, costos asociados, generación de residuos y contribución ambiental.

Para llevar a cabo esta evaluación, se utilizó una escala de puntuación del 0 al 5, donde

0 representaba la valoración más baja y 5 la más alta. Posteriormente, se calculó un promedio de las puntuaciones otorgadas a cada criterio para determinar cuáles técnicas y tecnologías habían obtenido los mejores resultados. A partir de esta valoración, se procedió a crear fichas técnicas que presentaban de manera organizada la información relevante de las tecnologías seleccionadas. Estas fichas técnicas incluían tanto las ventajas como las desventajas de la implementación de cada tecnología, brindando una visión completa y estructurada de sus características y potencialidades.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Alimentos contaminados con plomo en Colombia

A continuación, se presentan casos reportados de contaminación de alimentos por plomo en Colombia, en los años 2015 a 2023.

Plomo en alimentos para bebés

La presencia de plomo en alimentos para bebés, como jugos de frutas, vegetales de raíz y galletas, son motivo de preocupación, ya que, aunque en niveles bajos, al ser un metal pesado bioacumulable, tienen un impacto considerable en bebés, lo que plantea una problemática seria para la salud. La EPA estima que más del 5% de los menores supera los niveles diarios de ingesta de plomo establecidos por la FDA, y los alimentos son la princi-

pal fuente de exposición al plomo en la mayoría de los niños pequeños (Zuraw, 2017).

Arroz contaminado con plomo

En 2019, se detectó arroz importado de Ecuador contaminado con plomo en Colombia (Vargas, 2019), con fuentes de contaminación provenientes del suelo y la minería ilegal.

Plomo en panela

Ruiz *et al.* (2018) encontraron presencia de plomo en panela, a pesar de cumplir con normas sanitarias. Aunque los niveles estaban dentro de los límites permitidos, la alta ingesta de panela podría aumentar la exposición.

Plomo en tubérculos como la papa

Se encontró plomo en papas frescas con cáscara en distintos municipios (Moreno et al., 2016), atribuido a la contaminación del suelo y al uso excesivo de agroquímicos.

Plomo en leche fresca de bovino

Serna y Valderrama (2017) evaluaron la presencia de plomo en leche cruda y procesada, encontrando niveles dentro de los límites permisibles.

Plomo en frutos y bayas pequeñas como la fresa

Huertas (2018) detectó plomo en fresas frescas debido a la contaminación del agua de riego, superando los límites permitidos.

Plomo en carne

Bustamante *et al.* (2016) revelaron la presencia de plomo en carne de ganado bovino criado en Colombia, con niveles superiores a los límites permitidos en algunos casos.

Se identificaron factores asociados a la presencia de plomo en los alimentos, como la falta de higiene en la preparación y el consumo de alimentos, así como hábitos alimenticios que pueden aumentar la absorción de plomo. Además, se resalta que la exposición al plomo puede provenir del agua, el suelo y el aire, afectando la seguridad alimentaria. La Tabla 2 resume los resultados obtenidos.

Tabla 2.

Alimentos contaminados por plomo en Colombia

| Alimento | Niveles de Pb hallados | Valor permisible de Pb | Fuente de contaminación | Técnica de tratamiento | Referencia |
|--|------------------------|---|---|---|-------------------------------|
| Productos para bebés (jugos y galletas) | 0,086 mg | 0,01 mg/kg | Suelo y procesos de producción | Ninguna | (Zuraw, 2017) |
| Jugos de fruta para bebés | Más de 5 ppb | <ul style="list-style-type: none"> • 50 ppb para jugos de fruta • 5 ppb para agua embotellada | Suelo | Reducir el consumo de productos procesados | (Zuraw, 2017) |
| Arroz | 0,7 mg/kg | 0,5 a 3,6 mg/kg | <ul style="list-style-type: none"> • Agua a través de la minería ilegal • Productos fertilizantes con plomo | Detención del producto contaminado y estudio en el arroz nacional | (Vargas, 2019) |
| Panela | 0,0060 a 0,0783 mg/kg | 0,2 mg/kg | Suelo y procesos de producción | Ninguna por ser valores bajos | (Ruiz <i>et al.</i> , 2018) |
| Tubérculos como la papa | 0,085 a 0,150 mg/kg | 0,1mg/kg | Suelo | Tratar el agua de riego empleando técnicas de medición como la técnica voltamétrica | (Moreno <i>et al.</i> , 2016) |

| | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|-----------|---|--|-----------------------------------|
| Leche de bovino | 0,0029 a 0,02254 mg/l | 0,02 mg/l | Suelo y agua como fuente de alimento para los bovinos | Seguimiento de muestras del alimento a partir de técnicas como el método de espectrofotometría absorción atómica por llama | (Serna y Valderrama, 2017) |
| Frutos y bayas pequeñas | 0,3012 ppm | 0,20 ppm | Agua de riego contaminada | Seguimiento de muestras del alimento usando la técnica voltametría de onda cuadrada (SWV) | (Huertas, 2018) |
| Carne | 0,10 a 0,62 ppm | 0,1 ppm | Suelo y agua como fuente de alimento para los bovinos | Seguimiento de muestras del alimento usando espectrofotometría de absorción atómica | (Bustamante <i>et al.</i> , 2016) |

Fuente: autores a partir de la revisión de información reportada en bases de datos consultadas.

Los resultados del análisis de diversos alimentos ponen de manifiesto la presencia alarmante de plomo en productos consumidos comúnmente en Colombia. Se destaca particularmente la preocupación por la contaminación con Pb en alimentos destinados a bebés, como jugos y galletas; encontrándose niveles de plomo hasta de 0,086 mg, que supera ampliamente el valor permisible de 0,01 mg/kg. Lo anterior, conlleva a graves consecuencias en la salud de este grupo vulnerable, puesto que el cerebro en desarrollo de los niños es susceptible al Pb, incluso en pequeñas cantidades, desencadenando trastornos de desarrollo intelectual (Qin *et al.*, 2021), particularmente la disminución del nivel de coeficiente intelectual en ellos, hasta en 1,94 puntos (Chowdhury y Alam, 2024). Este caso es solo un ejemplo entre muchos otros productos alimenticios afectados por la presencia de plomo, como se muestra en la Tabla 2, registrando niveles alarmantes de contaminación (Zuraw, 2017). En este contexto, la presencia de plomo en una amplia gama de alimentos en Colombia, incluyendo productos para bebés, arroz, panela, papas, leche, frutas y carne

de ganado bovino, es una preocupación seria, destacando la necesidad de una regulación más estricta, controles de calidad rigurosos al igual que la identificación y mitigación de las fuentes de contaminación para proteger la salud pública.

Por ejemplo, para el caso del arroz, la contaminación del suelo de los arrozales con Pb, es un problema importante y amenaza la seguridad alimentaria, ya que se transmite a través del sistema suelo-planta (Liu, 2024), como se ha determinado en estudios realizados en suelos severamente contaminados con Pb, ubicados cerca a zonas industriales y en los que se cultiva arroz, registrando para este alimento valores de Pb en un rango de 114 mg/kg (Kumar *et al.*, 2022) hasta 1200 mg/kg (Qin *et al.*, 2021).

Para la papa se reporta que, en cuencas como la del Atrato, supera el límite permisible de Pb establecido por la OMS/FAO, siendo un tubérculo que consumen frecuentemente sus habitantes (Caicedo-Rivas, 2023). Alhaj Hamoud *et al.* (2024) estudiaron la acumulación del Pb en la papa, encontrando

que los niveles de consumo y concentración de Pb están determinados por la ingesta diaria de los alimentos, registrando valores para la papa de $4\mu\text{g}/\text{kg}$ día de Pb, siendo así, que una alta tasa de ingesta diaria de este alimento, representa mayores riesgos para la salud.

Por otra parte, la leche y sus derivados son alimentos fundamentales en la dieta de los seres humanos (Castro-González *et al.*, 2021), pero su calidad plantea riesgos, especialmente en zonas contaminadas, debido a que las vacas son alimentadas con forrajes con presencia de plomo (Özbay *et al.*, 2023), y también beben agua subterránea proveniente de pozos, o agua superficial contaminada con Pb (Kandhro *et al.*, 2023). Se ha demostrado que la leche cruda y otros productos lácteos contienen niveles de plomo en un rango de $(2,31 \pm 0,127 \text{ mg}/\text{L})$ por encima de los límites permitidos, lo que representa un riesgo para la salud, especialmente en niños entre 6 meses y 5 años que consumen diariamente leche de vaca (Tadese Tola *et al.*, 2024). Para el caso de la leche de vaca procesada se ha encontrado un contenido de plomo metálico menor que en la no procesada (Rachmawati, 2024).

La acumulación de Pb en la fresa tiene como principal contribuyente el agua contaminada utilizada para el riego de este cultivo (Hassan *et al.*, 2024). También la fresa posee un riesgo de contaminación por la presencia de Pb en el suelo. Para garantizar la seguridad del consumo de este fruto se requiere reconocer los peligros ocasionados por la contaminación de este metal pesado (Yang *et al.*, 2022).

En la carne, se ha encontrado que el ganado corre un riesgo mayor debido al consumo de forraje, alfalfa, maíz y sorgo contaminado con Pb, debido al riego de estos cultivos con aguas residuales. Por lo que es fundamental determinar la acumulación de Pb en la carne de ganado, para establecer los peligros de la exposición humana al consumo de este alimento (Alhaj Hamoud *et al.*, 2024).

Ante este panorama, es esencial abordar esta problemática y aplicar técnicas de tratamiento y seguimiento efectivas para garantizar la seguridad alimentaria y la salud pública. La implementación de medidas adecuadas se convierte en una necesidad urgente para mitigar la exposición al plomo en alimentos y asegurar un entorno alimentario seguro para la población (Ruiz *et al.*, 2018). Estos hallazgos subrayan la importancia de intervenciones decisivas que promuevan la protección de la salud en la comunidad.

Distribución por departamentos de la contaminación por plomo en alimentos en Colombia

Los casos de contaminación se distribuyen en diferentes departamentos de Colombia, lo que resalta la gravedad de la presencia de plomo en la salud pública. Es importante adoptar medidas para prevenir y reducir la exposición al plomo en los alimentos y proteger la salud de la población.

Estos casos se pueden ver reflejados en el mapa de Colombia presentado en la Figura 2, los cuales muestran que se distribuyen a

nivel general en el país, siendo solo unos pocos los departamentos en los que no se encontró registro de la presencia de plomo en

la investigación, lo cual prueba la gravedad a nivel de este metal pesado en la salud de los colombianos.



Figura 2. Casos por departamento contaminación por plomo en alimentos. Muestra los casos analizados para determinar las zonas afectadas del país por plomo en alimentos

Fuente: elaborado a partir de la revisión de información reportada en las bases de datos consultadas.

En la Figura 2 se evidencian las áreas afectadas por la contaminación de alimentos con plomo en varios departamentos de Colombia. Los casos analizados fueron obtenidos mediante una revisión sistemática de la información recopilada de bases de datos consultadas. Este proceso permitió identificar regiones específicas del país donde se han registrado problemas de contaminación con este metal pesado en alimentos, en consonancia con lo reportado por Hernández-Rodríguez (2021), al establecer que el plomo está ampliamente distribuido en el territorio colombiano y que más del 70% de los casos reportados en alimentos sobrepasan los límites establecidos por la normatividad. Díaz *et al.* (2024) han establecido la presencia de Pb en el suelo del corredor industrial de Boyacá (Colombia), un suelo expuesto a actividades industriales y agrícolas, donde se presenta un uso excesivo de productos químicos para promover el crecimiento de los cultivos. Estas actividades generan un alto impacto negativo en los suelos urbanos y rurales, contribuyendo al aumento de las concentraciones de Pb en el ambiente.

Estos resultados proporcionan una visión crítica sobre la extensión y gravedad de dicha problemática en Colombia, suministrando información útil para abordar y mitigar de manera efectiva esta preocupación en términos de salud pública.

Efecto contaminante y toxicológico del plomo presente en los alimentos

A continuación, se describen los impactos y efectos del plomo en los seres humanos,

así como el mecanismo de toxicidad y su toxicocinética:

Impactos y efectos del plomo en los seres humanos

Entre los impactos y efectos reportados en la información revisada se presenta:

- Según la Unicef (2020), hasta 800 millones de niños a nivel mundial, aproximadamente 1 de cada 3, tienen niveles de plomo iguales o superiores a 5 $\mu\text{g}/\text{dL}$ en la sangre, lo que requiere intervención médica. La mitad de estos niños reside en Asia meridional.
- El plomo es una neurotoxina potente que puede causar daños irreparables en el cerebro de los niños, así como repercusiones duraderas en adultos, como hipertensión arterial (Chowdhury y Alam, 2024) y lesiones renales. También puede provocar abortos, partos prematuros y malformaciones en embarazadas.
- Los niños menores de cinco años son especialmente vulnerables debido a que sus cerebros aún están en desarrollo, lo que puede llevar a deterioro neurológico, cognitivo y físico de por vida.
- La exposición al plomo puede provenir de diversas fuentes como el agua contaminada por tuberías de plomo, actividades industriales, pintura a base de plomo y reciclaje inseguro de baterías de plomo-ácido.
- En Colombia, se encontró que más del 7% de los niños en edad escolar presentan concentraciones elevadas de plomo en la

sangre, especialmente en estratos bajos debido a prácticas de reciclaje inseguro.

Mecanismo de toxicidad del plomo

- El principal mecanismo de toxicidad del plomo es la suplantación de cationes polivalentes, como calcio y zinc, en las proteínas del organismo, lo que afecta a múltiples procesos biológicos.
- El plomo altera el metabolismo del calcio, reemplazando al calcio y comportándose como un segundo mensajero intracelular. También activa enzimas y proteínas reguladoras, afectando la función celular y nerviosa.

Toxicocinética del plomo

- El plomo puede ser absorbido por inhalación, ingestión y, en menor medida, absorción percutánea.
- La absorción de plomo se ve afectada por factores como el tipo de plomo, tránsito gastrointestinal, estado nutricional, tamaño de partículas, hábitos alimenticios y edad.

- Después de la absorción, el plomo se distribuye en tejidos como hígado, riñón y sistema nervioso central, y también se almacena en el sistema óseo.
- El plomo almacenado en el hueso puede ser liberado y excretado, principalmente a través de la orina. La exposición continua por medio de alimentos representa un alto riesgo para la salud.

Matriz de identificación y valoración de impactos ambientales

- Un proyecto minero involucra varias fases, desde exploración hasta cierre, cada una con actividades específicas como exploración, remoción de vegetación, excavaciones, extracción mineral, entre otras.

A partir de la identificación de los impactos mencionados, se realizó una evaluación de su significancia que determinó los que necesitaban ser atendidos con prioridad. Esta valoración, se presenta en la siguiente matriz (Tabla 3) que categoriza los impactos en función de su magnitud: Irrelevante (< -25), Moderado (-25 a <-50), Severo (-50 a -75) y Crítico (> -75).

Tabla 3.

Matriz de evaluación de impactos socioambientales proyecto minero

| Componentes del entorno | | Impactos | CA | MG | EXT | DUR | REV | REC | PE | TD | TP | PO | MP | Calificación Importancia | Promedio IMP | |
|-------------------------|---------------|---|-------------|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-----|--------------------------|--------------|--------|
| Biótico | Hidrología | Caudales | -1 | 4 | 8 | 8 | 12 | 12 | 1 | 2 | 1 | 1 | -65 | Severo | -63 | |
| | | Dinámica fluvial | -1 | 4 | 8 | 4 | 12 | 12 | 1 | 2 | 1 | 1 | -61 | Severo | | |
| | Agua | Usos del agua | -1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 1 | 2 | 8 | -83 | Crítico | -84 |
| | | Calidad fisicoquímica | -1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 2 | 2 | 8 | -84 | Crítico | |
| | | Calidad bacteriológica | -1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 2 | 2 | 8 | -84 | Crítico | |
| | Hidrogeología | Calidad fisicoquímica de aguas subterráneas | -1 | 1 | 8 | 8 | 12 | 12 | 4 | 2 | 1 | 1 | -59 | Severo | -50 | |
| | | Nivel freático | -1 | 1 | 4 | 4 | 12 | 12 | 4 | 1 | 1 | 1 | -46 | Moderado | | |
| | | Capacidad de infiltración | -1 | 1 | 1 | 4 | 12 | 12 | 4 | 2 | 1 | 4 | -44 | Moderado | | |
| | Suelo | Calidad fisicoquímica | -1 | 1 | 8 | 8 | 12 | 12 | 4 | 2 | 1 | 1 | -59 | Severo | -53 | |
| | | Usos del suelo | Agricultura | -1 | 1 | 8 | 4 | 12 | 12 | 4 | 1 | 1 | 1 | -54 | | Severo |
| Paisajismo | | | -1 | 1 | 4 | 4 | 12 | 12 | 4 | 1 | 1 | 1 | -46 | Moderado | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|--------------------------|--|----|---|---|----|----|----|----|---|---|---|-----|----------|-----|
| Abiótico | Fauna | Especies | Cambio en la presencia y cantidad | -1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 12 | 2 | 2 | 8 | -88 | Crítico | -72 |
| | | Hábitat | Cambio en el estado del hábitat | -1 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 12 | 2 | 2 | 8 | -88 | Crítico | |
| | | Dinámica de la población | Cambio en la dinámica de la población | -1 | 4 | 1 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 1 | 8 | -41 | Moderado | |
| Socioeconómico | Dimensión demográfica | Salud de la población | Afectación a la salud por inhalación de plomo, contacto directo en la piel y consumo de alimentos contaminados | -1 | 4 | 8 | 12 | 12 | 12 | 8 | 2 | 2 | 8 | -84 | Crítico | -84 |

Fuente: autores.

Estas actividades pueden tener impactos socioambientales significativos, como la degradación del suelo, contaminación del agua y aire, alteración de ecosistemas y afectación de la salud de las comunidades locales.

La actividad minera conlleva a la contaminación por plomo de recursos naturales como el suelo, y además se distribuye por medio del polvo a los hogares y al agua potable (Raj y Das, 2023). El Pb está reconocido como cancerígeno para los seres humanos (Kumar *et al.*, 2022; Caicedo-Rivas, 2023; Kandhro *et al.*, 2023; Chowdhury y Alam, 2024), y con varios riesgos para la salud (Collin *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2022; Abd *et al.*, 2023; Hassan *et al.*, 2024; Hettiarachchi *et al.*, 2024).

Se espera que la producción mundial de plomo aumente debido al incremento de la fabricación de productos que contienen

este metal (automóviles y baterías de teléfonos móviles). También por la industria de alimentos enlatados, siendo esta una de las principales causas de la afectación en la salud por consumo de plomo, debido a las características de lixiviación de estos alimentos (Raj y Das, 2023). Adicionalmente, es importante considerar que la biodisponibilidad y bioaccesibilidad del Pb absorbido por la ingestión de alimentos, en conjunto con otros metales pesados, tiene un impacto determinante en el riesgo para la salud (Xiao, 2024).

Tecnologías para reducir la contaminación de plomo en alimentos en Colombia

Las tecnologías utilizadas para eliminar plomo y metales pesados en agua y suelo se

presentan en las tablas 4 y 5, y además en los anexos A, B, C, D, E, F, G y H. Estas tecnologías están enfocadas en mitigar la dispersión

de plomo en la cadena alimentaria y su impacto en la producción de alimentos.

Tabla 4.

Tecnologías aplicadas para remoción de plomo. Estudio 1

| Ficha de evaluación tecnología | |
|--|---|
| Título del estudio: | Tratamiento de un suelo contaminado con escorias de plomo mediante las técnicas de lavado y encapsulamiento |
| Autor o Autores: | Ing. Ortiz, T. |
| Nombre de la tecnología o técnica: | |
| Técnicas de lavado y encapsulamiento | |
| Tipo de estudio: | Tesis de maestría |
| Descripción de la tecnología o técnica: | |
| <p>En este proyecto se evaluaron dos métodos para tratar suelo contaminado con escorias de plomo: lavado y encapsulamiento. El método de lavado involucró la extracción del suelo y su procesamiento con ácido clorhídrico-goma xantana, logrando remover el 92% del plomo. La técnica de encapsulamiento estabilizó el plomo y luego lo encapsuló en el suelo. Ambos métodos inmovilizaron el 99% del plomo y produjeron bloques ecológicos con una resistencia mucho mayor al límite normativo. Sin embargo, la técnica de encapsulamiento resultó más viable en términos de costo y efectividad, con un 99% de eliminación de plomo. Estas técnicas ofrecen ventajas al evitar la necesidad de confinamiento en vertederos de residuos y permiten su uso en la construcción de rellenos sanitarios.</p> | |
| Criterios de evaluación | |
| Criterio | Puntaje |
| Facilidad de implementación | 5 |
| % Eficiencia | 5 |
| Costos | 4 |
| Generación de residuos | 5 |
| Aporte ambiental | 5 |
| TOTAL | 4.8 |

Se muestra las técnicas de lavado y encapsulamiento para la remoción de plomo en suelos

Fuente: autores.

Tabla 5.

Tecnologías aplicadas para remoción de plomo. Estudio 2

| Ficha de evaluación tecnología | |
|--|--|
| Título del estudio: | Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. |
| Autor o Autores: | Munive, R.; Gamarra, G.; Munive, Y.; Puertas, F.; Valdiviezo, L.; Cabello, R. |
| Nombre de la tecnología o técnica: | |
| Técnicas de fitorrecuperación con adición de enmiendas | |
| Tipo de estudio: | Artículo de revista |
| Descripción de la tecnología o técnica: | |
| La fitorrecuperación es una técnica moderna que utiliza plantas capaces de sobrevivir en suelos contaminados con plomo y otros metales pesados. En este proyecto, se emplea el girasol como planta fitorremediadora, aprovechando su capacidad de retener y extraer el plomo a través de su sistema de raíces y tejidos. Para mejorar las condiciones del suelo, se usan compost y vermicompost como enmiendas orgánicas y agentes quelantes. Esta técnica es natural, económica y alternativa a procesos químicos costosos. Sin embargo, su principal desventaja es que puede requerir tiempo para lograr un crecimiento vegetal significativo y una descontaminación efectiva. | |
| Criterios de evaluación | |
| Criterio | Puntaje |
| Facilidad de implementación | 5 |
| % Eficiencia | 3.5 |
| Costos | 5 |
| Generación de residuos | 5 |
| Aporte ambiental | 3.5 |
| TOTAL | 4.4 |

Se muestra las técnicas electrocinéticas para la remoción de plomo en suelos

Fuente: autores.

Las fichas técnicas presentadas previamente representan tecnologías destinadas a la recuperación de recursos naturales que han sido contaminados por plomo y otros agentes contaminantes. Estas se emplean en situaciones de contaminación natural o como respuesta a la intervención humana como la minería, el vertimiento de residuos, entre otras actividades. Es importante resaltar, como lo

menciona Elika (2021), que una vez que el plomo se acumula en animales y vegetales, no se puede eliminar de manera efectiva para su consumo. Por lo tanto, la medida principal para reducir la exposición al plomo en la dieta de los colombianos consiste en la prevención y el tratamiento de áreas.

Esta razón fundamenta la relación directa entre las tecnologías presentadas y el trata-

miento de suelos y agua, ya que son elementos críticos en la producción de alimentos y en la obtención de nutrientes para los animales. Este enfoque busca prevenir la contaminación por plomo a lo largo de la cadena alimentaria, evitando su paso a los seres humanos.

La investigación se orientó en abordar diversas tecnologías utilizadas para la descontaminación provocada por la presencia de plomo, considerando factores como la facilidad de implementación, el impacto ambiental y los costos asociados. El objetivo era convertir estas tecnologías en soluciones reales en el país, mejorando la calidad de los alimentos que llegan a los hogares colombianos. En este sentido,

destacan tecnologías como la fitorrecuperación y la biorremediación, que en conjunto demuestran la capacidad de generar resultados positivos. Además, su costo es bastante asequible y su implementación resulta sencilla y efectiva. Particularmente se han identificado diferentes tipos de cepas bacterianas para la biorremediación del plomo, como la *Rhodobacter sphaeroides*, que cambia el plomo a formas menos letales. *Leclercia adcarboxylata* tiene capacidad de absorber plomo. En contraste, *Kocuria flava* disminuye la disponibilidad de plomo en el suelo por medio de la quelación. Además, cepas de hongos como *Metarhizium anisopliae* y *Paecilomyces javanicus* contribuyen en el proceso de remediación (Raj y Das, 2023).

4 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos a través de la revisión sistemática de casos de contaminación por plomo en alimentos en varios departamentos de Colombia, aproximadamente el 70% evidencian la amplia distribución y gravedad de este problema en el país. La contaminación por plomo se presenta en alimentos como arroz, panela, papas, leche y carne de bovino, fresas y alimentos para bebés. Se expuso que el plomo en alimentos proviene principalmente de los suelos contaminados y del uso de aguas para riego con presencia de este metal, especialmente en zonas con actividades industriales y agrícolas intensivas.

Las fuentes reportadas de contaminación por plomo en Colombia fueron la minería, pesticidas y fertilizantes al igual que décadas de uso de gasolina con plomo. El agua de riego utilizada en la agricultura también puede ser una fuente importante de contaminación por plomo, especialmente en zonas donde se utilizan aguas superficiales contaminadas. El reciclaje informal de baterías de plomo-ácido es otra fuente crítica de contaminación, ya que el proceso no controlado y sin medidas de protección adecuadas libera plomo al aire, el suelo y el agua circundantes. En conjunto, estas fuentes de contaminación por plomo destacan la necesidad urgente de abordar este problema de manera integral, implementando medidas de prevención,

control y remediación para proteger la salud humana y preservar el medio ambiente en Colombia.

Las consecuencias de la exposición continua al plomo son graves, especialmente cuando es a través de la dieta, ya que el plomo puede persistir en los huesos durante más de 30 años, desarrollar cáncer y producir daño cognitivo, entre otros riesgos a la salud. La prevención es clave, involucrando prácticas de higiene, adecuada asepsia de alimentos, lavado de manos y entornos de vida limpios. Aunque grupos como bebés, niños y mujeres embarazadas enfrentan una mayor vulnerabilidad debido a sus sistemas de salud en desarrollo, todos estamos en peligro. La falta de certeza completa sobre los efectos neurotóxicos de niveles de plomo en sangre agrega otra capa de complejidad.

Las tecnologías para prevenir la ingestión de plomo en alimentos radican en el tratamiento de suelos y fuentes de agua contaminados, ya que los productos con plomo no pueden ser limpiados eficazmente una vez contaminados. Además, existen múltiples opciones viables y de bajo costo que pueden ser combinadas para lograr un tratamiento más eficaz. Es crucial continuar con inves-

tigaciones que actualicen los conocimientos sobre los efectos del plomo en la salud humana y las estrategias tecnológicas para tratar la contaminación en diferentes zonas del país.

La realización de proyectos de tratamiento para la contaminación por plomo en diversas zonas del país permitirá medir la efectividad de diferentes tecnologías, incluyendo la fitorrecuperación, biorremediación y el uso de barreras permeables, que pueden ser combinadas para maximizar resultados. En resumen, es importante continuar investigando, concientizando y aplicando estrategias para abordar el problema de la contaminación por plomo en alimentos y proteger la salud de la población y el medio ambiente.

Generar conciencia ambiental es fundamental para garantizar el cumplimiento de normativas por parte de empresas, especialmente en la gestión de desechos como las baterías de plomo-ácido que requieren un adecuado reciclaje. Campañas que refuercen prácticas de higiene y lavado de alimentos también son esenciales para reducir los riesgos de la ingesta de plomo. Además, se debe considerar el reemplazo de tuberías metálicas con alternativas de plástico o PVC para mitigar el riesgo de contaminación.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Luz Adriana Vargas Mendoza: metodología, investigación, recolección, conceptualización, análisis e interpretación de información, escritura, borrador original.

María Eugenia Buitrago González: supervisión, revisión y edición. **Luis Carlos Villegas Méndez:** supervisión, revisión y edición.

AGRADECIMIENTOS

A la Unidad Central del Valle del Cauca, en donde se llevó a cabo el proyecto “Formulación de estrategias para la mitiga-

ción de los efectos de la contaminación e intoxicación con plomo en los alimentos en Colombia”.

FINANCIAMIENTO

Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA).

LITERATURA CITADA

- Abd, M. K., Elkaliny, N. E., Elyazied, M. M., Azab, S. H., Elkhalifa, S. A., Elmasry, S., Mouhamed, M. S., Shalamesh, E. M., Alhorieny, N. A., Abd Elaty, A. E., Elgendy, I. M., Etman, A. E., Saad, K. E., Tsigkou, K., Ali, S. S., Kornaros, M., & Mahmoud, Y. A. (2023). Toxicity of Heavy Metals and Recent Advances in Their Removal: A Review. *Toxics*, 11(7), 580. <https://doi.org/10.3390/toxics11070580>
- Alhaj, Y., Shaghaleh, H., Zia-ur-Rehman, M., Rizwan, M., Umair, M., Usman, M., Ashar Ayub, M., Riaz, U., Alnusairi, G.S.H., Suliman Alghanem, S.M. (2024). Cadmium and lead accumulation in important food crops due to wastewater irrigation: Pollution index and health risks assessment. *Heliyon*, 10(3), e24712. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24712>
- Augustsson, A., Lundgren, M., Qvarforth, A., Hough, R., Engström, E., Paulukat, C., & Rodushkin, I. (2023). Managing health risks in urban agriculture: The effect of vegetable washing for reducing exposure to metal contaminants. *Science of The Total Environment*, 863. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160996>
- Azcona, M. I., Ramírez y Ayala, R., y Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72-77. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47345916012>
- Caicedo-Rivas, G., Salas-Moreno, M., & Marrugo-Negrete, J. (2022). Health Risk Assessment for Human Exposure to Heavy Metals via Food Consumption in Inhabitants of Middle Basin of the Atrato River in the Colombian Pacific. *International journal of environmental research and public health*, 20(1), 435. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010435>
- Calao, C. R., y Marrugo, J. L. (2015). Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de

- La Mojana, Colombia. *Revista Biomédica*, XXXV(2), 139-151. <https://www.redalyc.org/pdf/843/84340725015.pdf>
- Castro-González, N. P., Calderón-Sánchez, F., Fuentes de María-Torres, M. T., Silva-Morales S. S., González-Juárez, F. E. (2021). Heavy metals in blood, milk and cow's urine reared in irrigated areas with wastewater. *Heliyon*, 7(4), e06693. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06693>
- Castro, N., Moreno, R., Calderón, F., Moreno, A., y Tamariz, J. (2018). Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, IX(3), 466-485. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v9n3/2448-6698-rmcp-9-03-466.pdf>
- Chowdhury, A. I., & Alam, M. R. (2024). Health effects of heavy metals in meat and poultry consumption in Noakhali, Bangladesh. *Toxicology reports*, 12, 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2024.01.008>
- Collin, M. S., Venkatraman, S. K., Vijayakumar, N., Kanimozhi, V., Arbaaz, S. M., Sibiy Stacey, R. G., Anusha, J., Choudhary, R., Lvov, V., Tovar, G. I., Senatov, F., Koppala, S., Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects on human: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 7, 100094. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100094>
- Díaz A. J., Fonseca A. P., Vergara G. I., Díaz L. M., Videira-Quintela D., Montalvo, G. (2024). Assessment of potentially hazardous elements in soils of the Boyacá industrial corridor (Colombia) using GIS, multivariate statistical analysis, and geochemical indexes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115725>.
- Díaz, S. M., Téllez, E., Palma, R. M., Narváez, D. M., y Varona, M. (2022). Evaluación de la exposición a plomo en trabajadores informales colombianos que reciclan baterías. *Revista Salud Ambiental*, 22(1), 35-43. <https://ojs.diffundit.com/index.php>
- Elika. (2021). *Plomo*. <https://seguridadalimentaria.elika.eus/fichas-de-peligros/plomo/#exposicion>
- Figueroa, R., Caicedo, D., Echeverry, G., Peña, M., y Méndez, F. (2017). Condición socioeconómica, patrones de alimentación y exposición a metales pesados en mujeres en edad fértil de Cali, Colombia. *Revista Biomédica*, XXXVII(3), 341-352. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/843/84354827008/84354827008.pdf>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (UNICEF). (2020). *Un tercio de los niños del mundo está intoxicado por plomo, según un nuevo análisis innovador*. UNICEF. <https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/un-tercio-de-los-ni%C3%B1os-del-mundo-est%C3%A1-intoxicado-por-plomo-seg%C3%BAun-nuevo>
- García, C., Villada, L. A., y Robayo, J. (2018). Evaluación de la adaptación de *Helianthus annuus* en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo.

- Revista Cuaderno Activa*, 10(1), 93-111. <https://doi.org/10.53995/20278101.497>
- García, D., Lima, L., Ruiz, L., Santana, J., y Calderon, P. (2016). Agroecosistemas con probables riesgos a la salud por contaminación con metales pesados. *Revista Cubana de Química*, XXVIII(1), 378-393.
- Guanoliquín, C. D. (2021). *Estudio bibliográfico sobre la presencia de metales pesados arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en pollos de engorde (Gallus gallus)*. UCE. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24718>
- Hassan, J., Rajib, M. M. R., Khan, M. N., Khandaker, S., Zubayer, M., Ashab, K. R., Kuba, T., Marwani, H. M., Asiri, A. M., Hasan, M. M., Islam, A., Rahman, M. M., & Awual, M. R. (2024). Assessment of heavy metals accumulation by vegetables irrigated with different stages of textile wastewater for evaluation of food and health risk. *Journal of environmental management*, 353, 120206. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120206>
- Hernández, C. B., Gutiérrez-Malaxechebarria, A. M., & Zafra Mejía, C. A. (2021). Reported Lead Levels in Different Environmental Matrices in Colombia. *Ingeniería Y Universidad*, 25. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.iued25.rlld>
- Hettiarachchi, G. M., Betts, A. R., Chandima Wekumbura, W.G., Lake, L., Mayer, M. M., Scheckel, K. G., Basta, N. T. (2024). Chapter 6 - Lead: The most extensively spread toxic environmental contaminant. En R. Naidu (Ed.), *Inorganic Contaminants and Radionuclides* (113-150). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90400-1.00006-9>
- Hon, K. L., Fung, C. K., & Leung, A. K. (2017). Childhood lead poisoning: an overview. *Hong Kong medical journal*, 23(6), 616-621. <https://doi.org/10.12809/hkmj176214>
- Ikechukwu N, J., Clarke, L. J., Symeonakis, E., & Brearley, F. Q. (2022). Assessment of human exposure to food crops contaminated with lead and cadmium in Owerri, South-eastern Nigeria. *Journal of Trace Elements and Minerals*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100037>
- Kandhro, F., Kazi, T. G., Afridi, H. I., Baig, J. A., Lashari, A. A., & Lashari, A. (2023). Determination of toxic elemental levels in whey milk of different cattle and human using an innovative digestion method: risk assessment for children < 6.0 months to 5 years. *Environmental science and pollution research international*, 30(14), 41923–41936. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-25059-1>
- Khanam, R., Kumar, A., Nayak, A. K., Shahid, M., Tripathi, R., Vijayakumar, S., . . . Pathak, H. (2020). Metal(loid)s (As, Hg, Se, Pb and Cd) in paddy soil: Bio-availability and potential risk to human health. *Science of The Total Environment*, 699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134330>
- Kumar, S., Rahman, A., Islam, R., Hashem, A., Mahmudur Rahman, M. (2022). Lead and other elements-based pollution in soil, crops and water near a lead-acid battery recycling factory in Bangladesh.

- Chemosphere*, 290, 133288. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133288>
- Lizarazo, M. F., Herrera, C. D., Celis, C. A., Pombo, L. M., Teherán, A. A., Piñeros, L. G., . . . Rodríguez, O. E. (2020). Contamination of staple crops by heavy metals in Sibaté, Colombia. *Heliyon*, 6(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04212>
- Liu, M., Xu, R., Cui, X., Hou, D., Zhao, P., Cheng, Y., Qi, Y., Duan, G., Fan, G., Lin, A., Tan, X., Xiao, Y. (2024). Effects of remediation agents on rice and soil in toxic metal(loid)s contaminated paddy fields: A global meta-analysis, *Science of The Total Environment*, 925. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171656>.
- Londoño, L., Londoño, P. T., y Muñoz, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Revista Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 145-153. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612016000200017&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2021). *Definición del problema para el Análisis de Impacto Normativo para la definición del contenido de plomo en pinturas*. [https://www.minsalud.gov.co/Normativa/PublishingImages/Paginas/analisis-de-impacto-normativo/AIN%20Pinturas-%20Problematica%20\(12-abr-2021\).pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normativa/PublishingImages/Paginas/analisis-de-impacto-normativo/AIN%20Pinturas-%20Problematica%20(12-abr-2021).pdf)
- Narváez, M. E., Pozo, C. E., y Alonzo, O. M. (2020). Intoxicación por plomo y efectos neurocomportamentales en la asociación de carpinteros ciudad de Tulcán, 2018. *Revista Universidad y Sociedad*, XII(5), 431-437. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202020000500431
- Organización Mundial de la Salud. (OMS). (2022). *Intoxicación por plomo y salud*. OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Ortiz, J. P. (2023). Detección de plomo en alimentos preparados en utensilios de barro vidriado, un peligro latente para la salud pública. *Salud Pública de México*, 65(1), 106-107. <https://doi.org/10.21149/14190>
- Özbay, S., Dikici, E., Soylookan, C. (2023). Evaluation of biological (feed, water), seasonal, and geological factors affecting the heavy metal content of raw milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 121, 105401. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105401>
- Peláez, M., Bustamante, J., y Gómez, E. (2016). Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de *Brachiaria* en el Magdalena medio colombiano. *Revista Luna Azul*, 43, 82-101. <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321745921005.pdf>
- Qin, G., Niu, Z., Yu, J., Li, Z., Ma, J., Xiang, P. (2021). Soil heavy metal pollution and food safety in China: Effects, sources and removing technology. *Chemosphere*, 267, 129205. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129205>
- Rachmawati, S., Candraningtyas, C., Hanggara C., Fadhillah, R., Muazulfa, T., Fer-

- managh., Suryadi, I. (2024). Analysis of Lead (Pb) and Cadmium (Cd) heavy metals in cow's milk in Central Java, Indonesia. *IOP Conference Series.: Earth Environmental Science*, 1314, 012005 DOI 10.1088/1755-1315/1314/1/012005
- Raj, K. and Das, A. P. (2023). Lead pollution: Impact on environment and human health and approach for a sustainable solution. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 5, 79–85. 10.1016/j.enceco.2023.02.001.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., y González, E. (2016). Contaminación por metales pesados. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, XVI(2), 66-77. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- Rivera, K., y Pernia, B. (2021). Determinación de los niveles de plomo en sangre en trabajadores de fábricas de baterías ubicadas en Guayaquil-Ecuador. *Enfoque UTE*, 12(2), 1-18. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S1390-65422021000200001&script=sci_arttext
- Rodríguez, A., Cuellar, L., Maldonado, G., y Suardiaz, M. E. (2016). Efectos nocivos del plomo para la salud del hombre. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, XXXV(3), 251-271. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubinvbio/cib-2016/cib163f.pdf>
- Romero, B. (2020). *Contaminación por metales pesados en alimentos en Ecuador Meta-Análisis*. [Trabajo de grado]. Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/48744/1/TESIS%20EM-PASTAR.PDF>
- Salas, M., Garduño, M., Mendiola, P., Veneces, J., Zetina, V., Martínez, O. C., y Ramos, M. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, XX(1). <https://www.redalyc.org/journal/813/81359562002/81359562002.pdf>
- Su, C., Wang, J., Chen, Z., Meng, J., Yin, G., Zhou, Y., & Wang, T. (2023). Sources and health risks of heavy metals in soils and vegetables from intensive human intervention areas in South China. *Science of The Total Environment*, 857(1). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159389>
- Tadese, A., Salale, G., & Regassa, G. (2024). Assessment of essential and potentially toxic metals in raw cow milk from Mukaturi town, Oromia Regional State, Ethiopia. *Science of The Total Environment*, 926, 171987. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171987>
- Vega, L. T., y Vega, D. A. (2021). Contenidos de plomo en hortalizas cultivadas en huertos urbanos de la ciudad de Bogotá, Colombia. *Idesia (Arica)*, 129-137. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292021000400129&script=sci_arttext&tlng=pt
- Vergara, E. J., y Rodríguez, P. E. (2015). Presencia de mercurio, plomo y cobre en tejidos de *Oreochromis niloticus*: sector de la cuenca alta del Río Chicamocha, vereda Volcán, Paipa, Colombia. *Revis-*

ta Producción + limpia, 114-126. <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1433/1/902-2580-1-PB.pdf>

Vitola, D., Pérez, A., y Montes, D. (2022). Utilización de microalgas como alternativa para la remoción de metales pesados. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 195-203. <https://doi.org/10.22490/21456453.4568>

Xiao, W., Yang, Y., Tang, N., Huang, X., Zhang, Q., Zhao, S., Chen, D., Guo, B., Zhao, Z., Jiang, Y., & Ye, X. (2024). Innovative accumulative risk assessment of co-exposure to Cd, As, and Pb in contaminated rice based on their in vivo bioavailability and in vitro bioaccessibility. *The Science of the total environment*, 912, 168922. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168922>

Yang, Y., Zhang, H., Qiu, S., Sooranna, S. R., Deng, X., Qu, X., Yin, W., Chen, Q., & Niu, B. (2022). Risk assessment and early warning of the presence of heavy metal pollution in strawberries. *Ecotox-*

icology and environmental safety, 243, 114001. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114001>

Zambrano, D. C. (2020). *Detección de contaminación por plomo en el chocolate en polvo de venta en la ciudad de Guayaquil-Ecuador*. [Trabajo de grado]. Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48749>

Zapata, Y. L., Trujillo, J. M., y Torres, M. A. (2018). Distribución espacial del plomo (Pb) en el municipio de Villavicencio usando briófitos como medio de verificación de la calidad ambiental urbana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 269–280. <https://doi.org/10.22490/21456453.2167>

Zuraw, L. (20 de 06 de 2017). Detectan plomo en 20% de muestras de alimento para bebés. *CNN Español*. <https://cnnespanol.cnn.com/2017/06/20/detectan-plomo-en-20-de-muestras-de-alimento-para-bebes/>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.

