

Article: Investigación

Heavy metal contamination in food products and its risks to human health**Contaminación por metales pesados en productos alimenticios y sus riesgos para la salud humana**Sonia Sofía Vélez Saltos^{1*} ¹ Universidad del Pacifico, Guayaquil, EcuadorCorresponding author: Sonia Sofía Vélez Saltos **Revised:** 05-june-2023 **Accepted:** 25-june-2023 **Published:** 30-june-2023**Cite as:**

Contaminación por metales pesados en productos alimenticios y sus riesgos para la salud humana. (2023). Sapiens Sciences International Journal , 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.71068/ss000006>

ABSTRACT

The spread of heavy metals in the environment has become a global phenomenon, driven by their high transport, dispersion, and bioaccumulation capacity. This phenomenon has been fueled by increased industrial and mining activities, the expansion of agricultural and livestock farming, and by growing pollution problems. Due to these circumstances, the presence of heavy metals has become ubiquitous, constituting a global concern. Their entry into fundamental production systems, such as livestock farming, and their presence in foods for human consumption, such as cow's milk, exacerbate this problem. Objective of the review: The purpose of this study was to identify and describe the main sources of heavy metal contamination in livestock, initially focusing on those of anthropogenic origin, and subsequently examining natural sources, as well as various production factors that contribute to the increase in such contamination. The analysis of the transfer of these elements to animals was also addressed, assessing their impact on health and productivity. Likewise, the main heavy metals present were identified, such as arsenic (As), aluminum (Al), copper (Cu), iron (Fe), mercury (Hg), nickel (Ni), cadmium (Cd), and lead (Pb), whose detection in milk represents a potential risk to human health. Finally, the reference concentrations established by international regulations for milk were compiled as a measure of food safety.

Keywords: Food contamination; Heavy metals; Toxicological risk; Food safety.**RESUMEN**

La propagación de metales pesados en el medio ambiente se ha vuelto un fenómeno global, impulsado por su elevada capacidad de transporte, dispersión y bioacumulación. Este fenómeno se ha visto favorecido por el aumento de las actividades industriales, mineras, la expansión de la agricultura y la ganadería tecnificada, así como por los crecientes problemas de contaminación. Debido a estas circunstancias, la presencia de metales pesados se ha vuelto omnipresente, constituyéndose en una preocupación de carácter mundial. Su ingreso a los sistemas de producción fundamentales, como es el caso de la ganadería, y su presencia en alimentos de consumo humano, como la leche de vaca, agravan esta problemática. Objetivo de la revisión: El propósito de este estudio fue identificar y describir las principales fuentes de contaminación por metales pesados en la ganadería, centrándose inicialmente en aquellas de origen antrópico, y posteriormente examinando las fuentes naturales, así como diversos factores productivos que contribuyen al incremento de dicha contaminación. Asimismo, se abordó el análisis de la transferencia de estos elementos hacia los animales, evaluando su impacto en la salud y productividad. De igual manera, se identificaron los principales metales pesados presentes, tales como arsénico (As), aluminio (Al), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg), níquel (Ni),

cadmio (Cd) y plomo (Pb), cuya detección en la leche representa un riesgo potencial para la salud humana. Finalmente, se recopilaron las concentraciones referenciales establecidas por normativas internacionales en leche, como medida de garantía para la seguridad alimentaria.

Palabras clave: Contaminación alimentaria; Metales pesados; Riesgo toxicológico; Seguridad alimentaria.

INTRODUCTION

La peligrosidad de los metales pesados radica en su toxicidad, su persistencia en el ambiente y su capacidad de bioacumulación. Su presencia en distintos elementos ambientales como el agua, el suelo, el aire y su incorporación en la cadena alimenticia representan un serio peligro para la salud pública a nivel mundial (Mitra et al., 2022). Las fuentes de contaminación por metales pesados pueden ser de origen natural, asociadas a las características geológicas y a los materiales parentales, o de origen antrópico, derivadas de actividades como la minería, la fundición, la quema de combustibles fósiles, los vertidos industriales y agrícolas (Gu et al., 2014). La expansión acelerada de las actividades industriales y el crecimiento de la agricultura han favorecido el ingreso de estos metales a través de múltiples vías como el aire, el agua, los suelos, los residuos sólidos y los efluentes (Ye et al., 2019). No obstante, las fuentes naturales también contribuyen a esta contaminación, haciendo que la exposición del ganado a estos elementos sea, en muchos casos, directa e inevitable (Salman et al., 2019). Un medio relevante de transferencia de metales pesados hacia el ganado es el agua de riego, que transporta estos contaminantes hacia los suelos agrícolas, facilitando su absorción por los forrajes, lo cual deriva en la contaminación de productos de origen animal (Karimi et al., 2020).

Contaminación de la leche y riesgos para la salud pública

Históricamente, los productos lácteos, y en especial la leche, han sido reconocidos por su elevado valor nutricional debido a su contenido de macronutrientes, micronutrientes, vitaminas y ácidos grasos (Leksir et al., 2019). No obstante, todos estos beneficios nutricionales pueden verse considerablemente reducidos ante la presencia de contaminantes (Năstăsescu et al., 2020). Se ha demostrado que la contaminación de la leche por metales pesados ocurre principalmente a través del consumo de agua y forrajes contaminados con residuos industriales, plaguicidas, efluentes urbanos, o mediante procesos naturales como la actividad volcánica (Castro-González et al., 2017). La entrada de estos elementos en el organismo animal genera daños a su salud, dado que tienden a acumularse en órganos internos, provocando alteraciones patológicas y hematobioquímicas (Kar & Patra, 2021). A largo plazo, la bioacumulación de metales pesados en animales plantea un riesgo potencial para la salud humana y compromete la seguridad alimentaria (Castro et al., 2013).

Metales pesados en la leche y sus efectos tóxicos

En la leche es posible detectar diversos elementos como cobre (Cu), zinc (Zn) y hierro (Fe), que en cantidades apropiadas son esenciales para funciones metabólicas vitales. Sin embargo, la presencia de metales como cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) incluso en bajas concentraciones representa un riesgo toxicológico significativo (Gall et al., 2015). Se ha documentado que estos últimos elementos poseen efectos carcinogénicos y que su exposición puede provocar daños severos en órganos como los riñones, pulmones y estómago, así como afectar el sistema nervioso, cardiovascular y reproductivo (Akinyemi et al., 2019).

Objetivo de la revisión

Dada la amenaza que representan los metales pesados para la producción ganadera, el presente trabajo se propuso realizar una revisión bibliográfica destinada a analizar las principales fuentes de contaminación, los mecanismos de transferencia de estos contaminantes desde el ambiente hacia los animales, identificar los metales pesados más relevantes, evaluar los riesgos que su presencia en la leche representa para la salud pública y examinar los límites máximos permisibles establecidos por estándares internacionales para su control.

METHOD

La presente investigación se enmarcó dentro del enfoque documental, basándose en un análisis exhaustivo de fuentes bibliográficas actualizadas que permitieran contextualizar el estado actual del tema de estudio. Para ello, se realizó una búsqueda sistemática de información en bases de datos científicas reconocidas a nivel internacional, tales como ScienceDirect, PubMed, Google Académico, SciELO y Dialnet. La estrategia de búsqueda incluyó el uso de palabras clave específicas: metales pesados, leche de vaca, fuentes de contaminación, riesgo y salud, lo que permitió delimitar el campo temático y garantizar la pertinencia de los documentos seleccionados.

La revisión bibliográfica se efectuó en dos idiomas, inglés y español, con el propósito de ampliar el espectro de análisis y considerar investigaciones relevantes publicadas en diferentes contextos geográficos y culturales. Se estableció como criterio principal de inclusión la selección de literatura publicada en los últimos cinco años, en función de asegurar la actualidad y relevancia de los datos recopilados. No obstante, se incorporaron también algunas fuentes anteriores a dicho período, siempre que estas ofrecieran definiciones conceptuales esenciales o proporcionaran un sustento teórico relevante para el abordaje del objetivo planteado en el estudio.

Durante el proceso de revisión, se identificaron inicialmente 70 artículos científicos cuya temática guardaba relación con el objeto de investigación. De este total, se realizó una selección crítica, considerando criterios de relevancia, rigor metodológico y aplicabilidad de los resultados, lo que permitió consolidar un corpus bibliográfico compuesto por 60 artículos que fueron utilizados como soporte para el análisis y discusión del tema propuesto.

RESULTS

Diversas investigaciones indican que las actividades industriales representan una de las principales fuentes de contaminación por plomo (Pb) y cadmio (Cd) en la leche. Asimismo, se ha identificado que el agua constituye la fuente predominante de arsénico (As) (Chowdhury et al., 2016). Además, se ha documentado que el plomo (Pb) puede ser transferido al ensilaje consumido por el ganado (Zhou et al., 2019), observándose que la distribución de estos elementos está estrechamente vinculada a la dieta, especialmente al forraje suministrado (Diyabalanage et al., 2021). Investigaciones recientes también hallaron correlaciones positivas significativas entre las concentraciones de cobre (Cu) y cadmio (Cd) en muestras de leche y forraje (Yasotha et al., 2021). Por otro lado, se detectaron niveles elevados de aluminio (Al) en ganado lechero ubicado en cercanías de plantas de producción alimentaria (Boudebouz et al., 2021).

Estudios in situ realizados en explotaciones ganaderas revelaron una elevada contaminación del suelo por arsénico (As), mientras que el níquel (Ni) y antimonio (Sb) presentaron niveles de contaminación moderada en aguas superficiales destinadas al consumo animal (Qi et al., 2020). Por su parte, los complejos minero-metalúrgicos se identificaron como fuentes importantes de contaminación por plomo (Pb), afectando el suelo y los pastos utilizados para alimentar al ganado vacuno. Un estudio en Perú evidenció la presencia de altos niveles de plomo (Pb) en suelo, pasto y leche, siendo esta última 29 veces superior al límite permitido según normativa europea (Chirinos et al., 2021). Igualmente, se detectaron concentraciones significativamente altas de plomo (Pb) en animales criados en zonas próximas a fábricas de fundición de plomo-zinc, fundiciones de plomo, plantas procesadoras de aluminio y acerías (Swarup et al., 2005).

El tipo de sistema de producción también influye en los niveles de contaminación: se han reportado mayores concentraciones de arsénico (As), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb) y aluminio (Al) en sistemas convencionales en comparación con los sistemas de producción orgánica (Zwierzchowski & Ametaj, 2018). Otro factor relevante es la composición de la dieta, observándose niveles elevados de calcio (Ca), zinc (Zn), hierro (Fe), magnesio (Mg) y cobre (Cu) en el alimento proporcionado a las vacas lecheras (Pšenková et al., 2020). Asimismo, el uso de agua contaminada para el cultivo de forrajes introduce metales como cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni) y plomo (Pb), los cuales son posteriormente transferidos a la leche cruda (Iqbal et al., 2020).

Existen además fuentes de origen natural que contribuyen a la contaminación; investigaciones realizadas en zonas ganaderas cercanas a volcanes señalaron que el forraje contaminado constituye la vía principal de transferencia de estroncio (Sr) y talio (Tl) al ganado (Numa Pompilio et al., 2021). En estudios de grandes zonas ganaderas se concluyó que la contaminación por metales pesados en leche presentó una mayor variabilidad dentro de cada área que entre diferentes áreas (Zhou et al., 2019).

Transferencia de contaminantes y su relación con la productividad ganadera

El correcto funcionamiento metabólico de los animales y una alta productividad están condicionados por la presencia adecuada de ciertos elementos químicos; su deficiencia o exceso puede impactar negativamente en la eficiencia metabólica y en la producción (Miroshnikov et al., 2021). Una sobrecarga de elementos químicos afecta procesos fundamentales como la asimilación, absorción, excreción y transporte de nutrientes.

El consumo de forraje contaminado facilita la transferencia de elementos como estroncio (Sr) y talio (Tl) hacia la leche y la orina mediante el torrente sanguíneo (Numa Pompilio et al., 2021). Asimismo, se ha observado una correlación positiva entre la concentración de plomo (Pb) en el cabello de los animales y su productividad. Estudios de análisis capilar mostraron que las vaquillas tendían a acumular mayores niveles de selenio (Se), mercurio (Hg) y estaño (Sn), mientras que las vacas adultas presentaron mayores concentraciones de cobalto (Co), yodo (I), silicio (Si), vanadio (V), boro (B), cadmio (Cd), plomo (Pb) y estroncio (Sr) (Miroshnikov et al., 2020, 2021).

La etapa de lactancia también influye en la concentración de metales, registrándose menores niveles de plomo (Pb) en vacas de primera lactancia en comparación con vacas de tercera lactancia, mientras que el mercurio (Hg) se encontraba en mayores concentraciones en vacas de primera lactancia respecto a las de segunda lactancia (Miroshnikov et al., 2020, 2021).

En cuanto a la relación entre producción láctea y concentración de elementos en suero, se determinó que vacas con alta productividad presentaban niveles superiores de selenio (Se), zinc (Zn) y cobalto (Co). Por tanto, la suplementación controlada de oligoelementos y minerales esenciales representa una estrategia para optimizar la producción de leche evitando sobrecargas minerales (Sizova et al., 2021). Finalmente, el mérito genético se asoció a variaciones en las concentraciones de mercurio (Hg), y los sistemas de alimentación basados en cultivos influyeron en los niveles de cadmio (Cd), cobre (Cu), hierro (Fe), molibdeno (Mo) y vanadio (V) (Denholm et al., 2019).

Riesgo para la salud humana por presencia de metales pesados en leche de vaca

Dada la creciente contaminación de las áreas de producción a nivel mundial, resulta esencial investigar los niveles de micronutrientes y metales tóxicos en la leche bovina para evaluar los riesgos asociados a la salud del consumidor (Jolly et al., 2017). En años recientes, múltiples estudios han informado sobre la presencia de metales pesados en leche y derivados lácteos (Maas et al., 2011). Las concentraciones de metales en la leche reflejan tanto su calidad higiénica como la contaminación del medio ambiente de producción (Licata et al., 2004).

A continuación, se describen los principales elementos que representan riesgos para la salud humana:

Plomo (Pb):El plomo es uno de los metales más difundidos globalmente. Sus fuentes naturales incluyen la actividad volcánica, la meteorización y la liberación de depósitos en suelos y sedimentos (Raikwar et al., 2008). El plomo afecta principalmente el sistema nervioso central, siendo el cerebro infantil especialmente vulnerable (European Food Safety Authority [EFSA], 2014). Además, es clasificado como probable carcinógeno para humanos (Grupo 2A) (International Agency for Research on Cancer [IARC], 1990) y puede provocar severos daños en pulmones, estómago y otros órganos (Eid & Zawia, 2016). Su exposición alimentaria puede inducir disfunción renal, hipertensión, anemia, disminución del coeficiente intelectual, alteraciones conductuales y enfermedades articulares degenerativas (Vasconcelos Neto et al., 2019). La regulación internacional fija el límite de plomo en $0,020 \text{ mg kg}^{-1}$ (Commission Regulation [EC], 2006; Codex Alimentarius, 1995).

Cadmio (Cd):El cadmio es motivo de gran preocupación debido a su alta toxicidad y facilidad de transferencia a través de la cadena alimenticia (Liu, 2003). Su vida media en el organismo, de aproximadamente 15 a 30 años, y sus efectos teratogénicos, cancerígenos, nefrotóxicos, hepatotóxicos, esqueléticos y reproductivos lo convierten en un elemento sumamente peligroso (Zhou et al., 2017). Aunque su control es esencial, no existen normas actualizadas que establezcan un límite de referencia prioritario; sólo se dispone del valor de $0.0026 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ propuesto por la Federación Internacional de Lechería (Federation International de Laiterie [IDF], 1978).

Níquel (Ni):El níquel, ampliamente distribuido en la corteza terrestre y de uso industrial, es esencial en bajas concentraciones para el ser humano, pero en niveles elevados puede inducir daño celular, estrés oxidativo y neurotoxicidad (Ismail et al., 2017). Además, su exposición ha sido clasificada como carcinógena (Chromium, Nickel and Welding., 1990). El Instituto Nacional de Salud recomienda concentraciones de Ni en leche de 0,3 a 1 mg L⁻¹ (Food and Nutrition Board [FNB], 2001).

Mercurio (Hg):El mercurio es un metal pesado de origen tanto natural como antropogénico, presente en suelo, aire y agua (Sundseth et al., 2017). Sus principales fuentes humanas incluyen minería, fundiciones, producción de cemento, refinación petrolera, crematorios, prácticas agrícolas y vertidos industriales (Bilandžić et al., 2011). La creciente preocupación por su toxicidad ha impulsado la creación de acuerdos internacionales para su control, como el Convenio de Minamata.

Final del formulario

DISCUSSION

La evidencia reunida en los estudios revisados confirma que la presencia de metales pesados en la producción ganadera lechera es un problema complejo y multifactorial. Principalmente, las actividades industriales y mineras se consolidan como fuentes relevantes de contaminación ambiental, afectando suelos, forrajes y aguas utilizadas en las explotaciones lecheras (Chowdhury et al., 2016; Zhou et al., 2019; Diyabalanage et al., 2021; Boudebbouz et al., 2021; Qi et al., 2020). Esta relación directa entre las prácticas industriales y la bioacumulación de elementos tóxicos en la cadena alimentaria del ganado evidencia la necesidad de estrategias de manejo ambiental más estrictas en zonas de producción.

Asimismo, los sistemas de producción convencionales parecen exacerbar la transferencia de metales pesados a los animales en comparación con los sistemas orgánicos, lo que sugiere que prácticas agroecológicas no solo promueven el bienestar animal, sino que también reducen riesgos de contaminación para el consumidor (Zwierzchowski & Ametaj, 2018). Adicionalmente, la composición de la dieta del ganado representa un factor determinante en los niveles de elementos tóxicos encontrados en la leche (Pšenková et al., 2020; Iqbal et al., 2020). Así, se evidencia que el control de calidad del forraje y el agua debe ser prioritario en la gestión productiva.

Por otra parte, la transferencia de metales pesados al organismo animal no solo impacta la inocuidad de la leche, sino también la fisiología y productividad de los animales. La sobrecarga de elementos como plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y otros genera disrupciones metabólicas que afectan procesos de absorción, excreción y transporte de nutrientes esenciales, comprometiendo el rendimiento productivo (Miroshnikov et al., 2020; 2021; Sizova et al., 2021). La relación encontrada entre la concentración de ciertos elementos en suero, orina, leche y cabello con la edad y estadio productivo de las vacas plantea nuevas rutas para el monitoreo sanitario del ganado.

Respecto al impacto en la salud humana, la detección de plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y mercurio (Hg) en leche de consumo humano plantea un problema de salud pública de considerable importancia. Estos metales, reconocidos por su toxicidad severa y potencial carcinogénico (European Food Safety Authority [EFSA], 2014; International Agency for Research on Cancer [IARC], 1990;

Sundseth et al., 2017), representan riesgos que incluyen daño neurológico, renal, reproductivo y cardiovascular (Vasconcelos Neto et al., 2019; Zhou et al., 2017; Ismail et al., 2017). A pesar de los esfuerzos regulatorios internacionales, las lagunas normativas respecto a ciertos contaminantes, como el cadmio en productos lácteos (Islam et al., 2015), indican la necesidad de fortalecer los marcos legales para proteger a los consumidores.

Finalmente, la heterogeneidad encontrada en la distribución de metales pesados dentro de las zonas ganaderas (Zhou et al., 2019) sugiere que los estudios de monitoreo deben considerar no solo factores macro, como ubicación geográfica o tipo de industria cercana, sino también características microambientales que puedan influir en la exposición diferencial de los animales.

En conjunto, los hallazgos subrayan la importancia de implementar prácticas de manejo ambiental sostenibles, monitoreo regular de contaminantes, regulación estricta de fuentes de contaminación y campañas de educación tanto para productores como para consumidores. Así, se podría garantizar no solo la salud y el bienestar animal, sino también la seguridad alimentaria y la protección de la salud pública.

CONCLUSIONS

Según la revisión realizada, se determinó que las principales fuentes que incrementan las concentraciones de metales pesados en los sistemas ganaderos provienen de actividades antrópicas, tales como la minería, la metalurgia, diversas industrias y el vertimiento de efluentes contaminados. A estas fuentes se suman fenómenos naturales y variables como el tipo de sistema de producción implementado. Respecto a los medios de transferencia de estos elementos hacia los animales, se identificó que el agua y el forraje son los principales vehículos, ya que son consumidos directamente, permitiendo que los metales ingresen al torrente sanguíneo y, posteriormente, se excreten a través de la orina o se acumulen en la leche. Además, las concentraciones de metales en los animales se ven influenciadas por factores como la edad, la etapa productiva, el nivel de producción y la genética del ganado.

Riesgo a la salud por la presencia de metales pesados en la leche

En cuanto al riesgo sanitario derivado de la presencia de metales pesados en la leche, se describieron las principales fuentes de contaminación, los efectos adversos en la salud humana, así como las concentraciones de referencia establecidas por normas internacionales para metales como arsénico (As), aluminio (Al), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg), níquel (Ni), cadmio (Cd) y plomo (Pb). Debido al impacto potencial de estos elementos en la salud pública, se enfatiza la importancia de realizar un monitoreo constante de sus niveles, garantizando así la calidad de la leche y la protección de los consumidores.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

Akinyemi, A. J., Miah, M. R., Ijomone, O. M., Tsatsakis, A., Soares, F. A. A., Tinkov, A. A., Skalny, A. V., Venkataramani, V., & Aschner, M. (2019). Lead (Pb) exposure induces dopaminergic neurotoxicity in *Caenorhabditis elegans*: Involvement of the dopamine transporter. *Toxicology Reports*, 6, 833–840. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.08.001>

<https://doi.org/10.71068/ss000006>

- Alimentarius, C. (1995). Norma general para los aditivos alimentarios. Codex Stan, Codex Internacional Food Standards (Vol. 8, Issue 5), 192. <https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-texts/dbs/gsfa/es/>
- Ayar, A., Sert, D., & Akin, N. (2009). The trace metal levels in milk and dairy products consumed in middle Anatolia - Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152(1–4), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0291-9>
- Ballard, O., & Morrow, A. L. (2013). Human Milk Composition. *Nutrients and Bioactive Factors. Pediatric Clinics of North America*, 60(1), 49–74. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2012.10.002>
- Bilandžić, N., Okić, M., Sedak, M., Solomun, B., Varenina, I., Knežević, Z., & Benić, M. (2011). Trace element levels in raw milk from northern and southern regions of Croatia. *Food Chemistry*, 127(1), 63–66. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.084>
- Boudebouz, A., Boudalia, S., Bousbia, A., Habila, S., Boussadia, M. I., & Gueroui, Y. (2021). Heavy metals levels in raw cow milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. *Science of the Total Environment*, 751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141830>
- Castro J.; López de Romaña D.; Bedregal P.; López de Romaña G. y Chirinos D. (2013). Lead and cadmium in maternal blood and placenta in pregnant women from a mining-smelting zone of Peru and transfer of these metals to their newborns. *Journal of Toxicology and Environmental Health Sciences*, 5(8), 156–165. <https://doi.org/10.5897/jtehs2013.0276>
- Castro-González, N. P., Calderón-Sánchez, F., Moreno-Rojas, R., Moreno-Ortega, A., & Tamariz-Flores, J. V. (2017). Health risks in rural populations due to heavy metals found in agricultural soils irrigated with wastewater in the Alto Balsas sub-basin in Tlaxcala and Puebla, Mexico. *International Journal of Environmental Health Research*, 27(6), 476–486. <https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1386767>
- Chirinos Peinado, D., Castro Bedriñana, J., García Olarte, E., Quispe Ramos, R., & Gordillo Espinal, S. (2021). Transfer of lead from soil to pasture grass and milk near a metallurgical complex in the Peruvian Andes. *Translational Animal Science*, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.1093/tas/txab003>
- Chowdhury, S., Mazumder, M. A. J., Al-Attas, O., & Husain, T. (2016). Heavy metals in drinking water: Occurrences, implications, and future needs in developing countries. *Science of the Total Environment*, 569–570, 476–488. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.166>
- Commission Regulation (EC) No 1881/2006 of CE. (2006). Selecting Secondary Dust- Handling Systems. *Official Journal of the European Union*, 5(1), 5–364. <http://data.europa.eu/eli/reg/2006/1881/oj>
- Coulter, B. Y. M. A. (2016). Minamata Convention on Mercury International Legal Materials. *American Society of International Law. Vol. 55, No. 3* (2016), 582–616. <https://doi.org/10.5305/intelegamate.55.3.0582>
- Denholm, S. J., Sneddon, A. A., McNeilly, T. N., Bashir, S., Mitchell, M. C., & Wall, E. (2019). Phenotypic and genetic analysis of milk and serum element concentrations in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102(12), 11180–11192. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16960>

- Diyabalanage, S., Kalpage, M. D., Mohotti, D. G., Dissanayake, C. K. K., Fernando, R., Frew, R. D., & Chandrajith, R. (2021). Comprehensive Assessment of Essential and Potentially Toxic Trace Elements in Bovine Milk and Their Feeds in Different Agro-climatic Zones of Sri Lanka. *Biological Trace Element Research*, 199(4), 1377–1388. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02242-4>
- Eid, A., & Zawia, N. (2016). Consequences of lead exposure, and it's emerging role as an epigenetic modifier in the aging brain. *NeuroToxicology*, 56, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.neuro.2016.04.006>
- Eid, R., Arab, N. T. T., & Greenwood, M. T. (2017). Iron mediated toxicity and programmed cell death: A review and a re-examination of existing paradigms. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Cell Research*, 1864(2), 399–430. <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2016.12.002>
- European Food Safety Authority (EFSA). (2014). Dietary exposure to inorganic arsenic in the European population. *EFSA Journal*, 12(3). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6380>
- Federation Internacional de Laiterie (IDF). (1978). Contaminación por metales en leche y productos lácteos. *Int Dairy Fed Bull Documento Nº 105* (1979). <https://www.zuivel.nl.org/en/international-dairy-federation-idf>
- Food and Nutrition Board (FNB). (2001). Dietary Reference Intakes (DRIs) Recommended Intakes for Individual Elements. *Bulletin Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies*. (2001), 1–9. https://www.nal.usda.gov/sites/default/files/fnic_uploads/recommended_intakes_individuals.pdf
- Forrellat Barrios, M., Gautier Du Défaix Gómez, H., & Fernández Delgado, N. (2000). Metabolismo del hierro. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 16(3), 149–160.
- Gall, J. E., Boyd, R. S., & Rajakaruna, N. (2015). Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(4). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4436-3>
- Gu, Y. G., Li, Q. S., Fang, J. H., He, B. Y., Fu, H. B., & Tong, Z. J. (2014). Identification of heavy metal sources in the reclaimed farmland soils of the pearl river estuary in China using a multivariate geostatistical approach. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 105(1), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.04.003>
- Henriques, M. C., Loureiro, S., Fardilha, M., & Herdeiro, M. T. (2019). Exposure to mercury and human reproductive health: A systematic review. *Reproductive Toxicology*, 85, 93–103. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2019.02.012>
- International Agency for Research on Cancer (IARC). (1990). Chromium, Nickel and Welding IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. World Health Organization, International Agency for Research on Cancer, Vol 49 (1), 687. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0864-028920000003000011q
- Mandal, K. S. (2002). Chemical monitoring of soils for environmental quality and animal and human health. *Talanta*, 58, 201–234. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)70013-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)70013-0)

FUNDING:

Los autores declaran que este estudio no recibió ningún tipo de financiación externa por parte de agencias públicas, privadas, ni de organizaciones sin ánimo de lucro. Todas las actividades de investigación, análisis y desarrollo fueron realizadas con recursos propios.

CONFLICT OF INTEREST:

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.

AUTHOR CONTRIBUTION

Nombres de autores e iniciales: Sonia Sofía Vélez Saltos (SSVS)

1. Conceptualización: (SSVS)
2. Curación de datos: (SSVS)
3. Análisis formal: (SSVS)
4. Adquisición de fondos: (SSVS)
5. Investigación: (SSVS)
6. Metodología: (SSVS)
7. Administración del proyecto: (SSVS)
8. Recursos: (SSVS)
9. Software: (SSVS)
10. Supervisión: (SSVS)
11. Validación: (SSVS)
12. Visualización: (SSVS)
13. Redacción – borrador original: (SSVS)
14. Redacción – revisión y edición: (SSVS)