

## **Metales pesados en la producción ganadera lechera y riesgos a la salud humana**

**Damaris Leiva Tafur**

[damaris.leiva@untrm.edu.pe](mailto:damaris.leiva@untrm.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0001-7575-8498>

**Rainer Marco López Lapa**

[rainer.lopez@untrm.edu.pe](mailto:rainer.lopez@untrm.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-2879-5138>

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.  
Chachapoyas, Amazonas, Perú.

### **RESUMEN**

La presencia y distribución de metales pesados se ha generalizado a nivel mundial esto debido a que su tasa de transporte, distribución y bioacumulación es elevada, apoyada en el incremento de los procesos industriales, minero, el crecimiento de la agricultura, ganadería tecnificada, y problemas de contaminación, la incidencia de estos elementos se ha tornado ubica, convirtiéndose en un tema de preocupación mundial, su ingreso a los principales sistemas de producción tal es el caso de la ganadería y su existencia en los principales alimentos que consumen las personas, tal es el caso de la leche de vaca. El objetivo de la presente revisión radicó en la identificación y descripción de las principales fuentes de contaminación por metales pesados en la ganadería partiendo de las de origen antrópico, revisando las de origen natural y diversos aspectos de producción que influyen en el incremento de la contaminación, también se analizó la transferencia de estos elementos hacia el animal, incidencias en la salud y productividad, seguido de la identificación de los principales metales pesados como arsénico (As), aluminio (Al), cobre (Cu), Hierro (Fe), mercurio (Hg), níquel (Ni), cadmio (Cd) y plomo (Pb), cuya presencia en la leche presentan un riesgo para la salud humana, lográndose reportar las principales concentraciones referenciales establecidas por las normas internacionales en leche para asegurar la salud alimentaria.

**Palabras claves:** metales pesados; leche de vaca; fuentes de contaminación; riesgo; salud.

## **Metals Heavy metals in dairy cattle production and human health risks**

### **ABSTRACT**

The presence and distribution of heavy metals has become generalized worldwide due to their high rate of transport, distribution and bioaccumulation, supported by the increase in industrial and mining processes, the growth of agriculture, technical livestock and pollution problems, the incidence of these elements has become ubiquitous, becoming an issue of global concern, their entry into the main production systems such as livestock and their existence in the main foods consumed by people, as is the case of cow's milk. The objective of this review was to identify and describe the main sources of contamination by heavy metals in livestock, starting with those of anthropic origin, reviewing those of natural origin and various aspects of production that influence the increase in contamination, as well as the transfer of these elements to the animal and their impact on health and productivity, This was followed by the identification of the main heavy metals such as arsenic (As), aluminum (Al), copper (Cu), iron (Fe), mercury (Hg), nickel (Ni), cadmium (Cd) and lead (Pb), whose presence in milk presents a risk to human health, and the main reference concentrations established by international standards in milk to ensure food health were reported.

**Keywords:** heavy metals; cow milk; sources of contamination; risk; health.

Artículo recibido: 15 enero 2022

Aceptado para publicación: 08 febrero 2022

Correspondencia: [damaris.leiva@untrm.edu.pe](mailto:damaris.leiva@untrm.edu.pe)

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

## **1. INTRODUCCIÓN**

La toxicidad, duración y capacidad de bioacumulación hacen de los metales pesados elementos peligrosos, su distribución en los diversos componentes ambientales como agua, suelo, aire y su introducción en la cadena alimenticia representan un riesgo para la salud pública mundial (Mitra et al., 2022). Las fuentes de contaminación por metales pesados pueden ser naturales debido a la composición geológica y materiales parentales o antrópicas como minería, fundición, combustibles fósiles, descarga industrial, descargas agrícolas (Gu et al., 2014). El desarrollo acelerado de las industrias e incremento de la agricultura ha permitido el ingreso de metales pesados a través de diversas vías como la atmosfera, el agua, el suelo, los desechos sólidos y efluentes (Ye et al., 2019), sin embargo, la contaminación de origen natural también genera impactos, lo que provoca que la exposición del ganado a las fuentes de contaminación sea directa y en muchos casos inevitable (Salman et al., 2019). Una de las fuentes de transferencia de estos elementos al ganado se da por el agua de riego que traslada los metales hasta los suelos agrícolas y la translocación de estos elementos en lo forrajes lo que provoca la contaminación de los productos de origen animal (Karimi et al., 2020).

A lo largo de la historia los productos lácteos, principalmente la leche han sido considerados alimentos altamente nutritivos, por la presencia de sus macro y micronutrientes, vitaminas y ácidos grasos (Leksir et al., 2019), sin embargo todos los beneficios pueden verse amilanados por la presencia de contaminantes (Năstăsescu et al., 2020); está demostrado que la fuente directa de contaminación de la leche por estos elementos se da a través del agua y forrajes que han sido alterados con desechos industriales, residuos de plaguicidas, efluentes urbanos y procesos naturales como actividad volcánica (Castro-González et al., 2017). La presencia de estos elementos en el agua y forraje al ingresar al organismo, trae afecciones a la salud animal debido a que se acumulan en los órganos internos, ocasionando alteraciones patológicas y hematobioquímicas (Kar & Patra, 2021), los procesos de bioacumulación finalmente sugieren un riesgo para los humanos y la seguridad alimentaria (Castro et al., 2013).

Dentro de la leche se pueden identificar diferentes elementos tales como cobre (Cu), zinc (Zn) y hierro (Fe), que en concentraciones adecuadas son necesarios para la ejecución de actividades metabólicas, por otro lado, la presencia de elementos como cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg) son elementos que pueden traer efectos tóxicos aun en

niveles bajos de concentración (Gall et al., 2015), la toxicidad de estos elementos están reportados, siendo considerados potencialmente cancerígenos, con efectos severos sobre los riñones, pulmones, estómago, sistema nervioso, cardiovascular y reproductivo (Akinyemi et al., 2019).

Considerando el riesgo que representan los metales pesados en la producción ganadera, se buscó desarrollar una revisión bibliográfica que nos permitiera discernir temas como fuentes de contaminación, procesos de transferencia de los contaminantes desde el medio ambiente hasta los animales, discriminar los principales metales pesados, el riesgo que representa su presencia en la leche para la salud pública y una revisión sobre los valores límites establecidos por estándares internacionales para el control de estos contaminantes.

## **2. MÉTODOS**

Se desarrolló una investigación documental basada en revisión bibliográfica del estado actual del tema en las bases de datos ScienceDirect, PubMed, Google académico, SciELO, Dialnet; utilizando palabras claves como metales pesados, leche de vaca, fuentes de contaminación, riesgo, salud. La revisión se realizó en los idiomas inglés y español. Se priorizó el uso de bibliografía de los últimos 5 años, no obstante, también se tuvo en cuenta bibliografía anterior que permitiera definir algunos términos y que pudieran explicar el objetivo propuesto. Se encontraron 70 artículos con temáticas relacionadas, de los cuales 60 artículos fueron utilizados para abordar el tema.

## **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Fuentes de contaminación de metales pesados en la ganadería lechera**

Estudios sugieren que las actividades industriales son una de las principales fuentes de contaminación por plomo (Pb) y cadmio (Cd) en la leche, también se considera que la principal fuente de arsénico (As) se encuentra en el agua (Chowdhury et al., 2016), y el plomo (Pb) es transferido al ensilaje que es suministrado al ganado (Zhou et al., 2019), encontrándose que la distribución de los elementos está relacionado con el suministro dietético a través del forraje (Diyabalanage et al., 2021), también se encontraron correlaciones positivas significativas entre la concentración de cobre (Cu) y cadmio (Cd) en muestras de leche y forraje (Yasotha et al., 2021), concentraciones elevadas de aluminio (Al) fueron encontradas en ganado lechero cerca de plantas productoras de alimentos (Boudebouz et al., 2021). Estudios de contaminación in situ en granjas reportan contaminación extrema por concentraciones elevadas de arsénico (As) en el

suelo, mientras que níquel (Ni) y antimonio (Sb) presenta un nivel de contaminación moderada en las aguas superficiales que abastecen al ganado (Qi et al., 2020). Los complejos minero-metalúrgicos se consideran fuentes de plomo (Pb) esto debido a que afectan el suelo y los pastos de las zonas destinadas a la crianza de ganado vacuno, estudios desarrollados en Perú demostraron la presencia de concentraciones elevadas de plomo (Pb) en suelo, pasto y leche, esta última presentaba 29 veces más plomo (Pb) que el límite de seguridad establecido por la normativa europea (Chirinos et al., 2021), la concentraciones de plomo (Pb) resultaron significativamente altas en animales criados alrededor de fábricas de fundición de plomo-zinc, fundición de plomo, unidad de procesamiento de aluminio y planta de fabricación de acero (Swarup et al., 2005). Otro de los factores que influyen en el grado de contaminación está dado por el tipo sistema de producción, se reporta un mayor grado de contaminación por arsénico (As), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb) y aluminio (Al) en los sistemas de producción convencional en relación con el sistema de producción orgánico (Zwierzchowski & Ametaj, 2018), otro de los factores que influyen es la composición de la dieta, se reportan concentraciones elevadas de calcio (Ca), zinc (Zn), hierro (Fe), magnesio (Mg) y cobre (Cu) en el alimento suministrado a vacas lecheras (Pšenková et al., 2020), también se reporta que el uso de agua contaminada para producir forraje introduce elementos como cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), manganeso (Mn), níquel (Ni) y plomo (Pb) que son transferidos a la leche cruda (Iqbal et al., 2020). Otra de las fuentes de contaminación, son aquellas de origen natural, se reportan estudios desarrollados en áreas dedicadas a la producción ganadera cerca de volcanes, donde se encontró que la vía de contaminación de estroncio (Sr) y talio (Tl) está dada por el forraje que ingiere el ganado (Numa Pompilio et al., 2021). En relación con el estudio de grandes áreas dedicadas a la producción ganadera, se encontró que la contaminación por metales pesados en la leche presentó mayor heterogeneidad dentro de las áreas que entre las áreas (Zhou et al., 2019).

### **Transferencia de contaminantes y su relación con la productividad ganadera**

Se considera que una óptima ejecución de los procesos metabólicos en el organismo del animal, seguido de una alta productividad es posible cuando en el interior del cuerpo existe cierta cantidad de elementos químicos, lo que sugiere que una falta o exceso de estas sustancias genera una disminución en la productividad y eficiencia metabólica, considerando esta premisa, se llega a distinguir que una saturación de elementos y un

estado de sobrecarga metabólica influye en el rendimiento de los sistemas de asimilación, excreción, absorción y transporte (Miroshnikov et al., 2021), se ha identificado que la ingesta de forraje elementos con estroncio (Sr) y talio (Tl) facilitan la transferencia de estos elementos a la leche y la orina a través de la sangre (Numa Pompilio et al., 2021), también se ha determinado una correlación positiva de elementos como el plomo (Pb) presentes en el cabello de los animales relacionados con la productividad de vacas lecheras, el análisis de la concentración de múltiples elementos en el cabello se ha relacionado con la edad de los animales demostrándose que las vaquillas presentan mayores concentraciones de selenio (Se), mercurio (Hg) y estaño (Sn), mientras que las vacas presentaron mayores concentraciones de cobalto (Co), iodo (I), silicio (Si), vanadio (V), boro (B), cadmio (Cd), plomo (Pb) y estroncio (Sr); el estadio de las vacas también influyen en el grado de concentración de estos elementos, se encontraron concentraciones bajas de plomo (Pb) en vacas de primera lactancia en comparación con vacas de tercera lactancia, mientras que mercurio (Hg) se encontraba en concentraciones elevadas en vacas de primera lactancia en comparación con vacas de segunda lactancia (Miroshnikov et al., 2020, 2021), la relación de la producción de las vacas lecheras con la presencia de elementos en el suero mostró que animales con una tasa elevada de producción presentaron concentraciones altas de selenio (Se), zinc (Zn) y cobalto (Co), en general se consideró que el suministro de oligoelementos y minerales esenciales evitando la sobrecarga en vacas lecheras se considera una herramienta que permite modular la productividad de leche (Sizova et al., 2021). En relación al mérito genético se mostró que está relacionado con concentraciones de mercurio (Hg) y los sistemas de alimentación con dieta cultivada influyen en concentraciones 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**

El estudio de micronutrientes y elementos tóxicos en la leche de vaca se hacen necesarios considerando el incremento de la contaminación de las zonas de producción a nivel mundial con el objetivo de evaluar el riesgo para la salud de los consumidores (Jolly et al., 2017), en los últimos años, muchos informes han indicado la presencia de metales pesados en la leche y otros productos lácteos (Maas et al., 2011), la determinación de las concentraciones de metales en la leche reflejan el estado higiénico de la leche, así como la contaminación del entorno en el que se produce (Licata et al., 2004) a continuación se

mencionan los principales elementos encontrados en leche que representan un riesgo para la salud de los consumidores.

El Plomo (Pb) es uno de los elementos más ubicuos y el metal industrial más distribuido a nivel mundial, las fuentes naturales de plomo incluyen actividad volcánica, meteorización, remoción natural de fuentes de plomo en el suelo y sedimentos (Raikwar et al., 2008). El daño que ocasiona la exposición al plomo en humanos es preocupante, el principal órgano que afecta es el sistema nervioso central, siendo el cerebro el órgano más vulnerable principalmente de individuos en desarrollo (European Food Safety Authority [EFSA], 2014), el Pb es un elemento altamente cancerígeno para los humanos (Grupo 2A) (International Agency for Research on Cancer [IARC], 1990) y con afecciones severas al pulmón, estómago y demás órganos del cuerpo (Eid & Zawia, 2016), su exposición en la dieta también puede ocasionar disfunción renal, incremento de la presión arterial, anemia, reducción de coeficiente intelectual, trastornos de comportamiento y enfermedades degenerativas articulares (Vasconcelos Neto et al., 2019). Su presencia y concentraciones está regulado por normas internacionales como los establecidos por la Comisión Europea (Commission Regulation [EC], 2006) y Codex Alimentarias (Alimentarius, 1995) quienes establecen como valor de referencia para Pb 0,020 mg kg<sup>-1</sup>.

El Cadmio (Cd) es uno de los metales pesados que generan más preocupación por los daños severos que ocasiona a los humanos, por su facilidad para transferirse a través de la cadena alimenticia (Liu, 2003) esto debido a la larga vida media que presenta entre 15-30 años aproximadamente y sus efectos teratogénicos, cancerígenos, nefrotóxicos, hepatotóxicos, esqueléticos y reproductivos, su capacidad de bioacumulación en tejidos, riñones, hígado lo convierte en un elemento sumamente peligroso para la salud humana (Zhou et al., 2017). A pesar de la importancia del control de este contaminante en la leche no existe normas actualizadas que establezcan un límite de referencia prioritario (Islam et al., 2015), solo se cuenta con el valor de referencia establecido por Federación Internacional de Lechería cuyo valor establece 0.0026 ug g<sup>-1</sup> (Federation Internacional de Laiterie [IDF], 1978).

El Níquel (Ni) es uno de los elementos ampliamente distribuido en la corteza terrestre y por sus propiedades, utilizado en los procesos industriales, se considera un elemento esencial para el ser humano, sin embargo, niveles elevados puede provocar daño celular,



estrés oxidativo y neurotoxicidad (Ismail et al., 2017), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, reportó que la exposición severa a Ni y sus compuestos son cancerígenos (Chromium, Nickel and Welding., 1990). Las concentraciones de Ni en la leche de vacas recomendado por el Instituto Nacional de Salud es de 0.3 a 1 Mg L<sup>-1</sup> (Food and Nutrition Board [FNB] , 2001).

El mercurio (Hg) es un metal pesados ampliamente distribuido en el suelo, el agua y el aire de origen natural y antrópico (Sundseth et al., 2017), las principales fuentes antropogénicas son la minería, fundición, producción de cemento, refinación de petróleo, industrias de cremación, materiales agrícolas y vertidos industriales y urbanos (Bilandžić et al., 2011). La creciente preocupación por los peligros a la salud que ocasiona el mercurio a nivel mundial ha llevado a la generación de alianzas tal es el caso del convenio de minamata para proteger el medio ambiente y la salud humana de este elementos contaminante (Coulter, 2016), el Hg ingresa fácilmente al torrente sanguíneo esto debido a su fácil solubilidad en los lípidos y su bioacumulación se establece en la corteza renal, el hígado y el cerebro (Rice et al., 2014) y ocasiona daños irreversibles neurológicos (alzhéimer, eretismo, demencia, parkinson, esquizofrenia), daño renal, respiratorio, inmunológico, genéticos, epigenéticos, cardiovasculares y daños reproductivos (Henriques et al., 2019). No existen demasiados reportes de la presencia de Hg en la leche sin embargo por el riesgo inminente que representa su presencia el Reglamento de la Unión Europea indica que el valor mínimo es de 0.01 mg Kg<sup>-1</sup> (Reglamento (UE) 2015/1006 de la Comisión Europea [CE], 2015).

El hierro (Fe) al ser un oligoelemento importante en el organismo, se podría considerar que su presencia en los alimentos es poco alarmante, sin embargo, el exceso de hierro se deposita intracelularmente como ferritina y hemosiderina principalmente en el bazo, el hígado y la medula ósea (Forrellat Barrios et al., 2000), a su vez la capacidad que tiene para generar reacciones con el oxígeno, puede generar daño tisular, insuficiencia orgánica e incrementa el riesgo de generación de cáncer (Eid et al., 2017), es por ello que existen regulaciones de su presencia en alimentos como la leche considerándose como valor de referencia máxima de 0.37 Mg L<sup>-1</sup> (Federation Internacional de Laiterie [IDF], 1978).

El cobre (Cu) es un elemento ubicuo y esencial en los procesos biológicos se considera que 1 por cada 30 000 personas transporta Cu desde el citosol hasta el aparato de Golgi, donde se excretan hepatocitos como Cu unido a la ceruloplasmina (Ballard & Morrow,



2013), un exceso en los niveles de concentración genera la enfermedad de Wilson (Lawal et al., 2006). La leche en diferentes países del mundo presenta concentraciones levadas de Cu, por eso su regulación se hace importante, considerando como límite máximo 0.01 Mg L<sup>-1</sup> (Federation Internacional de Laiterie [IDF], 1978).

El aluminio (Al) es un elemento cuya distribución en la tierra es alta, lo que en actualidad ha provocado que la exposición a este elemento parta desde nuestro hogares y actividades cotidianas, se encuentra Al desde productos dietéticos y de cuidado personal (Krewski et al., 2007). La exposición prolongada al Al está relacionada con la incidencia de cáncer, problemas en los tejidos neuronales (Taravati et al., 2018), también se reportan afecciones patológicas en el sistema nervioso central, esquelético y hematopoyético (Ayar et al., 2009). A pesar de las implicancias del aluminio no se reportan normas internacionales que regulen la concentración en leche, lo que revela un problema de salud pública (Boudebouz et al., 2021), sin embargo Puls (1994) considera como un límite de referencia para concentraciones de Al de 0,08 - 0,50 Mg L<sup>-1</sup>.

El arsénico es el elemento disperso en el planeta, debido a su constante presencia en el agua y los alimentos, sin embargo esta característica hace que concentraciones elevadas de este elemento produzca carcinogenicidad, afecciones a sistema endocrino, y múltiples afecciones a la salud (Mandal, 2002). La concentración de arsénico en leche cruda de vaca depende principalmente de las condiciones de nutrición y contaminación ambiental, con frecuencia el medio la fuente de As se encuentra en el agua, de acuerdo a las normas internacional el límite para arsénico en leche es de 10 ug Kg<sup>-1</sup> (Federación Internacional de Lechería, 1978)

#### **4. CONCLUSIONES**

De acuerdo a la revisión desarrollada se encontró que las fuentes de contaminación que más influyen en las concentraciones de metales pesados en los sistemas de producción ganadera son las actividades de origen antrópico como las minero-metalúrgicas, industrias y efluentes contaminados, seguido de procesos naturales y factores como el tipo de producción desarrollada. En relación a las fuentes de transferencias de estos elementos se indica que son el agua y forraje, principales elementos consumidos por los animales, permitiendo el ingreso de los elementos directamente hasta la sangre para luego trasladarse a la orina y leche; la concentración de estos elementos esta relacionados también con la edad, estadio, producción y genética del ganado. En relación al riesgo a la

salud por la presencia de metales pesados en la leche se describió las fuentes de contaminación, los efectos en la salud y las concentraciones de referencia establecidas por las normas internacionales de arsénico (As), aluminio (Al), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg), níquel (Ni), cadmio (Cd) y plomo (Pb), elementos cuyas concentraciones deben ser monitoreados frecuentemente con el objetivo de asegurar la calidad de la leche y proteger la salud pública.

## **5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- 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/>
- 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>
- 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>
- 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)
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- Federation Internacional de Laiterie (IDF). (1978). Contaminación por metales en leche y productos lácteos. *Int Dairy Fed Bull Documento* N° 105 (1979). <https://www.zuivelnl.org/en/international-dairy-federation-idf>
- 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.
- 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](https://www.nal.usda.gov/sites/default/files/fnic_uploads/recommended_intakes_individuals.pdf)
- 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=s0864-02892000000300001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0864-02892000000300001)
- Iqbal, Z., Abbas, F., Ibrahim, M., Qureshi, T. I., Gul, M., & Mahmood, A. (2020). Human health risk assessment of heavy metals in raw milk of buffalo feeding at wastewater-irrigated agricultural farms in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 29567–29579.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09256-4>
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Habibullah-Al-Mamun, M., & Raknuzzaman, M. (2015). The concentration, source and potential human health risk of heavy metals in the commonly consumed foods in Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 462–469.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.022>
- Ismail, A., Riaz, M., Akhtar, S., Farooq, A., Shahzad, M. A., & Mujtaba, A. (2017). Intake of heavy metals through milk and toxicity assessment. *Pakistan Journal of Zoology*, 49(4), 1413–1419.  
<https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.4.1413.1419>
- Jolly, Y. N., Iqbal, S., Rahman, M. S., Kabir, J., Akter, S., & Ahmad, I. (2017). Energy dispersive X-ray fluorescence detection of heavy metals in Bangladesh cows' milk. *Heliyon*, 3(9), e00403.

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00403>

Kar, I., & Patra, A. K. (2021). Tissue Bioaccumulation and Toxicopathological Effects of Cadmium and Its Dietary Amelioration in Poultry—a Review. *Biological Trace Element Research*, 199(10), 3846–3868.

<https://doi.org/10.1007/s12011-020-02503-2>

Karimi, A., Naghizadeh, A., Biglari, H., Peirovi, R., Ghasemi, A., & Zarei, A. (2020). Assessment of human health risks and pollution index for heavy metals in farmlands irrigated by effluents of stabilization ponds. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10), 10317–10327.

<https://doi.org/10.1007/s11356-020-07642-6>

Krewski, D., Yokel, R. A., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., Kacew, S., Lindsay, J., Mahfouz, A. M., & Rondeau, V. (2007). Human health risk assessment for aluminium, aluminium oxide, and aluminium hydroxide. *In Journal of Toxicology and Environmental Health - Part B: Critical Reviews* (Vol. 10, Issue SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1080/10937400701597766>

Lawal A.O.; Mohammed S.S. & Damisa D. (2006). Assessment of Levels of Copper, Cadmium and Lead in Secretion of Mammary Gland of Cows Grazed on Open Fields. *Science World Journal*, 1(1), 21–26. <https://www.ajol.info/index.php/swj/article/view/51689>

Leksir, C., Boudalia, S., Moujahed, N., & Chemmam, M. (2019). Traditional dairy products in Algeria: Case of Klila cheese. *Journal of Ethnic Foods*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s42779-019-0008-4>

Licata, P., Trombetta, D., Cristani, M., Giofrè, F., Martino, D., Calò, M., & Naccari, F. (2004). Levels of “toxic” and “essential” metals in samples of bovine milk from various dairy farms in Calabria, Italy. *Environment International*, 30(1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(03\)00139-9](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(03)00139-9)

Liu, Z. P. (2003). Lead poisoning combined with cadmium in sheep and horses in the vicinity of non-ferrous metal smelters. *Science of the Total Environment*, 309(1–3), 117–126. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00011-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00011-1)

Maas, S., Lucot, E., Gimbert, F., Crini, N., & Badot, P. M. (2011). Trace metals in raw cows' milk and assessment of transfer to Comté cheese. *Food Chemistry*, 129(1), 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.034>

- Miroshnikov, S. A., Skalny, A. V., Zavyalov, O. A., Frolov, A. N., & Grabeklis, A. R. (2020). The Reference Values of Hair Content of Trace Elements in Dairy Cows of Holstein Breed. *Biological Trace Element Research*, 194(1), 145–151. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01768-6>
- Miroshnikov, S., Notova, S., Kazakova, T., & Marshinskaia, O. (2021). The total accumulation of heavy metals in body in connection with the dairy productivity of cows. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 49852–49863. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14198-6>
- Mitra, S., Chakraborty, A. J., Tareq, A. M., Emran, T. Bin, Nainu, F., Khusro, A., Idris, A. M., Khandaker, M. U., Osman, H., Alhumaydhi, F. A., & Simal-Gandara, J. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. *Journal of King Saud University - Science*, 34(3), 101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>
- Năstăsescu, V., Mititelu, M., Goumenou, M., Docea, A. O., Renieri, E., Udeanu, D. I., Oprea, E., Arsene, A. L., Dinu-Pîrvu, C. E., & Ghica, M. (2020). Heavy metal and pesticide levels in dairy products: Evaluation of human health risk. *Food and Chemical Toxicology*, 146, 111844. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111844>
- Numa Pompilio, C. G., Francisco, C. S., Marco Tulio, F. de M. T., Sergio Samuel, S. M., & Fernanda Eliza, G. J. (2021). Heavy metals in blood, milk and cow's urine reared in irrigated areas with wastewater. *Heliyon*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06693>
- Pšenková, M., Toman, R., & Tančin, V. (2020). Concentrations of toxic metals and essential elements in raw cow milk from areas with potentially undisturbed and highly disturbed environment in Slovakia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(21), 26763–26772. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09093-5>
- Puls, R. (1994). *Selenium. En: Mineral levels in animal health*. Clearbook: Sherpa International, 2<sup>a</sup> ed., 230-234.
- Qi, Z., Gao, X., Qi, Y., & Li, J. (2020). Spatial distribution of heavy metal contamination in mollisol dairy farm. *Environmental Pollution*, 263, 114621.



<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114621>

Raikwar, M. K., Kumar, P., Singh, M., & Singh, A. (2008). Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Veterinary World*, 1(1), 28–30.  
<https://doi.org/10.5455/vetworld.2008.28-30>

Reglamento (UE) 2015/1006 de la Comisión Europea (CE) (2015). *Official Journal of the European Union*, 161/14(June), 14–16.  
<http://data.europa.eu/eli/reg/2015/1006/oj>

Rice, K. M., Walker, E. M., Wu, M., Gillette, C., & Blough, E. R. (2014). Environmental mercury and its toxic effects. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*, 47(2), 74–83.  
<https://doi.org/10.3961/jpmph.2014.47.2.74>

Salman A. Salman, Zeid, S. A. M., & Abdel-Hafiz, E.-M. M. S. and M. A. (2019). Soil characterization and heavy metal pollution assessment in Orabi farms. *Bulletin of the National Research*, 43(1), 1–13.  
<https://doi.org/10.1186/s42269-019-0082-1>

Sizova E.A., Miroshnikov S.A., Notova S.V., Marshinskaya O. V., Kazakova T. V., A. Tinkov A. & Skalny A. V. Niveles de oligoelementos y minerales en suero y cabello en vacas lecheras en relación con la producción diaria de leche. *Biological Trace Element Research* 200 (1), 1.37.  
<https://doi.org/10.1007/s12011-021-02878-w>

Sundseth, K., Pacyna, J. M., Pacyna, E. G., Pirrone, N., & Thorne, R. J. (2017). Global sources and pathways of mercury in the context of human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1).  
<https://doi.org/10.3390/ijerph14010105>

Swarup, D., Patra, R. C., Naresh, R., Kumar, P., & Shekhar, P. (2005). Blood lead levels in lactating cows reared around polluted localities; Transfer of lead into milk. *Science of the Total Environment*, 349(1–3), 67–71.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.079>

Taravati Javad, M., Vahidinia, A., Samiee, F., Elaridi, J., Leili, M., Faradmal, J., & Rahmani, A. (2018). Analysis of aluminum, minerals and trace elements in the milk samples from lactating mothers in Hamadan, Iran. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 50(March), 8–15.

<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.05.016>

Vasconcelos Neto, M. C. de, Silva, T. B. C., Araújo, V. E. de, & Souza, S. V. C. de. (2019). Lead contamination in food consumed and produced in Brazil: Systematic review and meta-analysis. *Food Research International*, 126(September), 108671. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108671>

Yasotha, A., Dabadé, D. S., Singh, V. P., & Sivakumar, T. (2021). Risk assessment of heavy metals in milk from cows reared around industrial areas in India. *Environmental Geochemistry and Health*, 43(5), 1799–1815. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00758-1>

Ye, C., Butler, O. M., Du, M., Liu, W., & Zhang, Q. (2019). Spatio-temporal dynamics, drivers and potential sources of heavy metal pollution in riparian soils along a 600 kilometre stream gradient in Central China. *Science of the Total Environment*, 651, 1935–1945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.107>

Zhou, X., Qu, X., Zhao, S., Wang, J., Li, S., & Zheng, N. (2017). Analysis of 22 Elements in Milk, Feed, and Water of Dairy Cow, Goat, and Buffalo from Different Regions of China. *Biological Trace Element Research*, 176(1), 120–129. <https://doi.org/10.1007/s12011-016-0819-8>

Zhou, X., Qu, X., Zheng, N., Su, C., Wang, J., & Soyeurt, H. (2019). Large scale study of the within and between spatial variability of lead, arsenic, and cadmium contamination of cow milk in China. *Science of the Total Environment*, 650(2), 3054–3061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.094>

Zhou, X., Zheng, N., Su, C., Wang, J., & Soyeurt, H. (2019). Relationships between Pb, As, Cr, and Cd in individual cows' milk and milk composition and heavy metal contents in water, silage, and soil. *Environmental Pollution*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113322>

Zwierzchowski, G., & Ametaj, B. N. (2018). Minerals and Heavy Metals in the Whole Raw Milk of Dairy Cows from Different Management Systems and Countries of Origin: A Meta-Analytical Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(26), 6877–6888. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00904>