

NIVELES DE CONTAMINACIÓN DE LOS METALES Pb, Hg, Al, Cd Y As EN ALIMENTOS EN ECUADOR

CONTAMINATION LEVELS OF THE METALS Pb, Hg, Al, Cd AND As IN FOOD IN ECUADOR

Esthefanía Chuisaca L.¹, Nicole Ayerve S.¹, Indira Izquierdo C.¹, Santiago Guerrero J.¹, José Villavicencio G.¹, Samanta Subía S.¹ & Fernanda Pilaquina F.^{1*}

Recibido: 06 de junio 2024 / Aceptado: 06 de enero 2025
DOI: 10.26807/ia.v13i1.287

Palabras clave: alimentos, contaminación, metales pesados, Organización Mundial de la Salud (OMS), toxicidad.

Keywords: food, heavy metals, pollution, toxicity, World Health Organization (WHO).

¹ Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Ambientales, Carrera de Química, Quito - Ecuador (eachuisaca@puce.edu.ec; naayerve@puce.edu.ec; iaizquierdo@puce.edu.ec; sfguerreroj@puce.edu.ec; jmvillavicencio@puce.edu.ec; scsubia@puce.edu.ec; *correspondencia: mfpilaquingaf@puce.edu.ec)

RESUMEN

En el último año, en Ecuador se han reportado casos alarmantes de contaminación por plomo en alimentos destinados a exportación. La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) reportó intoxicaciones en niños estadounidenses causadas por canela contaminada proveniente de Ecuador, con niveles de plomo entre 2 270 y 5 110 mg/Kg, muy por encima de los límites seguros. Este caso enfatiza una necesidad urgente de abordar la contaminación causada por metales pesados con el objetivo de resguardar la salud pública. Este artículo aborda una revisión bibliográfica acerca de la contaminación de alimentos con plomo, mercurio, aluminio, cadmio y arsénico en Ecuador. Se determinó que el plomo excede el límite de concentración establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en cuatro de los siete alimentos investigados. Las concentraciones más altas fueron encontradas en cangrejo rojo (11 mg/kg), granos de soja (3 mg/kg) y leche (0,2 mg/kg), mientras que las más bajas se encontraron en lechugas (0,09 mg/kg). En cuanto al mercurio, se encontraron valores superiores al límite establecido por la OMS (0,47 mg/kg) en cuatro de los siete estudios analizados, siendo el pescado guajo el de mayor contenido (8,5 mg/kg). Para el aluminio, los estudios de colada de avena y arroz reportaron concentraciones que no exceden el límite de la OMS (1 mg/kg). En el caso del cadmio, en muestras de arroz y camarón no se encontraron niveles superiores al permitido por la OMS. Finalmente, en un estudio sobre arsénico en cacao, se superó el límite recomendado por la OMS. Se logró identificar, en varios productos alimentarios, concentraciones de contaminantes que superan los límites permitidos. Además, se pudo evidenciar la importancia de fortalecer los controles de los contaminantes presentes en alimentos e implementar regulaciones con el fin de asegurar la calidad alimentaria y salud pública.

ABSTRACT

In the past year, Ecuador has faced alarming cases of lead contamination in foods intended for export. The Food and Drug Administration (FDA) reported cases of poisoning in American children linked to contaminated cinnamon from Ecuador, which contained lead levels ranging from 2.270 to 5.110 mg/kg—far exceeding safe limits. This incident underscores the urgent need to mitigate heavy metal

pollution to safeguard public health. This article reviews literature on food contamination with lead, mercury, aluminum, cadmium, and arsenic in Ecuador. It was found that lead concentrations exceeded the World Health Organization (WHO) limits in 4 of the 7 foods examined. The highest levels were reported in red crab (11 mg/kg), soybeans (3 mg/kg), and milk (0.2 mg/kg), while the lowest appeared in lettuce (0.09 mg/kg). Mercury concentrations above the WHO threshold (0.47 mg/kg) were identified in 4 of the 7 studies, with guajo fish showing the highest value (8.5 mg/kg). For aluminum, oatmeal and rice showed concentrations within the WHO limit (1 mg/kg). Cadmium levels in rice and shrimp samples also stayed below WHO standards. However, arsenic levels in cocoa exceeded the recommended limit. This study highlights the prevalence of contaminant levels exceeding permissible thresholds in several food products. It also emphasizes the need for enhanced contaminant controls and the implementation of robust regulations to ensure food quality and protect public health.

INTRODUCCIÓN

La seguridad alimentaria se ve frecuentemente amenazada por la contaminación, tanto intencional como accidental de contaminantes. Los alimentos comercializados son propensos a la contaminación química, física y biológica. En este contexto, resaltan los metales pesados como contaminantes comunes debido a su presencia ubicua en el ambiente. En la cadena alimentaria, los metales pesados representan una fuente importante de contaminación, principalmente por su capacidad para bioacumularse en grandes

cantidades (Letuka et al., 2023). Entre los principales contaminantes químicos de los alimentos se encuentran el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), aluminio (Al) y arsénico (As).

El Pb es uno de los contaminantes más preocupantes debido a los graves efectos tóxicos que produce en el cuerpo humano. En el medio ambiente, este metal puede ser encontrado comúnmente como sulfuro de plomo (PbS) (Organización Mundial de la Salud, 2019). Puede ingresar a los alimentos por medio de diversas fuentes

de contaminación, incluyendo las geológicas. Las raíces de las plantas absorben metales del suelo contaminado, lo que resulta en su presencia en los productos alimenticios (Poma, 2008). La exposición al Pb a través de la dieta es una preocupación importante de salud pública, ya que este metal puede acumularse en el organismo y causar efectos tóxicos, especialmente en niños. Se ha descrito que el Pb inorgánico es un posible carcinógeno en humanos y puede llegar al cerebro, hígado, riñones y huesos, provocando efectos neurotóxicos, renales, cardiovasculares y reproductivos (Nag & Cummins, 2022). La intoxicación aguda por ingestión de Pb, conocida como saturnismo o plumbismo, provoca síntomas como debilidad, dolor articular, acidez, gastritis y anemia. Además, la exposición crónica a niveles bajos puede causar hipertensión, enfermedades renales y alteraciones inmunológicas (Wani et al., 2015). Se han llevado a cabo investigaciones que evidencian el rol del Pb en la inhibición de la biosíntesis de porfirinas en células

como los hepatocitos y eritrocitos, mediante la inhibición de la enzima delta-aminolevulínica deshidrogenasa (ALAD). Esto resulta en la acumulación de 8-aminolevulina (8-ALA), que puede desencadenar la formación de radicales libres y causar daño celular por lipoperoxidación (Uribe, 2005).

En Ecuador, se ha identificado uno de los casos más alarmantes de contaminación por Pb en alimentos de exportación. En octubre de 2023, la FDA reportó varios casos de intoxicación por Pb en niños estadounidenses debido al consumo de canela contaminada proveniente de Ecuador. Los niveles de este contaminante identificados en los productos de manzana y canela oscilaban entre 2 270 y 5 110 mg/Kg de Pb en canela (Investigación sobre los niveles elevados de plomo y cromo en las bolsas de puré de manzana y canela | FDA, 2023). Además, la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) reveló una lista con fecha junio

del 2024, con 13 alimentos con altos contenidos de metales pesados que no pueden ser consumidos ni distribuidos. Entre los productos se encuentran salsa de tomate, arroz blanco, canela en polvo, agua embotellada, etc. (Lotes de productos en los que se han detectado niveles de contaminación en su composición | ARCSA, 2024). Debido a estos casos, los estudios sobre la contaminación y migración de alimentos por otros metales pesados han cobrado gran relevancia. Esto subraya la importancia de monitorear el contenido de metales tóxicos en los alimentos para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud pública.

Dentro de estos estudios es relevante considerar el impacto del mercurio (Hg), un metal líquido que se puede convertir en metilmercurio ($\text{CH}_3\text{-Hg}^+$) mediante procesos microbianos en el suelo, aire y agua. Este derivado resulta más peligroso que su contraparte inorgánica, pues es más fácil de absorber por

los organismos vivos (D'Itri, 1992). El metilmercurio es el principal contaminante de los productos derivados del mar; llega al agua por diferentes mecanismos como la escorrentía, los vertidos industriales y la contaminación por minería ilegal. El $\text{CH}_3\text{-Hg}^+$ ingresa por los organismos más pequeños como peces y plancton, luego son consumidos por organismos más grandes y éstos por otros más grandes; este proceso se conoce como bioacumulación o biomagnificación (Vargas Licona & Marrugo Negrete, 2019). El consumo o exposición, aún en pequeñas cantidades, de Hg puede causar problemas de desarrollo intrauterino, daños a los sistemas nervioso, inmune y digestivo, problemas de piel, pulmones, riñones y hasta ojos (González et al., 2014). Este metal suele acumularse en los astrocitos, y causa anomalías de forma mayoritaria a las células granulares del cerebelo y las neuronas. El grupo de neurotoxicidad del Instituto de Investigaciones Biomédicas de Barcelona (CSIC), en 2010, realizó cultivos celulares

y análisis proteómicos con células expuestas a concentraciones micro y nano molares de $\text{CH}_3\text{-Hg}^+$. Los resultados demostraron una reducción de la actividad mitocondrial y el equilibrio de calcio, causando necrosis y apoptosis al cabo de 5 días (Rodríguez et al., 2010). La ingesta de mariscos constituye la principal fuente de exposición al Hg por esta razón se aconseja limitar el consumo de los peces más grandes en la dieta diaria.

Otro metal encontrado en alimentos es el Cd. Este elemento no suele estar en abundancia en la corteza terrestre, debido a su escasez (0,1-0,2 mg/Kg). A pesar de ello, el agua del océano suele tener concentraciones más altas de Cd (alrededor de 500 mg/Kg). Las principales fuentes están asociadas a depósitos de zinc, donde se encuentra en forma de sulfuro de cadmio (CdS) y también en cuerpos de agua aledaños a zonas volcánicas (Suhani et al., 2021). El Cd en la cadena trófica no suele suponer un problema, ya que las concentraciones de este

elemento suelen ser muy bajas. Sin embargo, la actividad industrial ha supuesto un incremento importante en la cantidad de Cd que se libera al ambiente, forma parte de las baterías de Ni-Cd; es utilizado como precursor en la fabricación de pigmentos, también se encuentra presente en combustibles como gasolinas y se usa como agente estabilizador en la síntesis de plásticos PVC (Genchi et al., 2020). La degradación de estos productos resulta en la liberación de cationes de Cd al ambiente, los cuales ingresan a la cadena trófica a través del agua. También se ha reportado que las plantas absorben los cationes de Cd de suelos contaminados y los incorporan en las raíces (Qin et al., 2020). La contaminación en animales se explica debido a la ingesta de plantas contaminadas con Cd que no puede ser metabolizado y se acumula en órganos como el hígado (Hocaoglu-Ozyigit & Genc, 2020) causando enfermedades como la insuficiencia renal, trastornos neurológicos, trastornos óseos, problemas en el sistema

reproductor masculino, anosmia e incluso cáncer (Zhang & Reynolds, 2019).

Se ha encontrado As en productos de consumo humano. El As está presente en la corteza terrestre y tiene alto valor industrial, con aplicaciones en semiconductores, herbicidas, pesticidas, fertilizantes, industria del vidrio, fuegos artificiales, municiones, etc. (Singh et al., 2023). Con base en estudios epidemiológicos, se estima que una dosis diaria de referencia de 0,00031 mg/kg hasta 0,00801 mg/kg de peso corporal incrementaba el riesgo de cáncer de pulmón, piel y vejiga en 1 % (Gundert-Remy et al., 2015). La Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades lo ha considerado genotóxico, neurotóxico y embriotóxico (Singh et al., 2023). Graham-Evans et al. (2003) presentaron un estudio acerca de la toxicidad del arsénico en líneas celulares humanas de queratinocitos, melanocitos, dendríticas, fibroblastos dérmicos, células endoteliales microvasculares, monocitos y

células T (Jurkat). Después de 72 h, los ensayos de citotoxicidad mostraron una DL_{50} (dosis letal media) de hasta 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Además, los estudios demostraron que dosis no letales de As producen mutaciones génicas. El As^{3+} aumenta la generación de aniones peróxido de hidrógeno y superóxido, sustancias nocivas para el organismo. También forma complejos con la cisteína, lo que conduce a la sustitución del zinc, produciendo modificaciones estructurales y pérdida de la función proteica (Gundert-Remy et al., 2015). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) determinaron que la dosis diaria mínima de referencia que incrementa el riesgo de cáncer de pulmón en 0,5 % (BMDL 0,5) está entre 2–7 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de peso corporal, según el rango de exposición dietética total estimada (OMS, 2019).

Por otra parte, la presencia de Al en el ambiente y su subsecuente acumulación en alimentos es un

fenómeno que puede acarrear consecuencias a largo plazo para la salud y contaminación ambiental (Fernández-Maestre, 2014). El Al se encuentra en envases de bebidas, ollas y sartenes, papel aluminio, entre otros. Su uso ha significado preocupaciones en cuanto a la contaminación ambiental y la exposición humana ya que, este metal, puede entrar en la cadena alimentaria a través de múltiples vías, incluyendo pesticidas y fertilizantes, el riego con agua contaminada y el vertido de residuos industriales (Ormaza et al., 2022). Sargazi et al. (2001) investigaron el efecto del Al en un cultivo celular de riñón utilizando concentraciones de hasta 100 $\mu\text{mol/L}$. La exposición a niveles elevados de Al puede causar diabetes, deficiencia renal y/o adsorción de hierro (Logroño Veloz et al., 2022).

Se ha encontrado que la exposición al Al se encuentra relacionada con la enfermedad de Alzheimer (Llopis & Ballester Díez, 2002). Los resultados sugieren que una baja concentración de Al

y alta concentración de flúor en el organismo generan un riesgo tres veces mayor de padecer daño cognitivo. El Al interfiere con varios procesos biológicos al sustituir otros metales esenciales en proteínas y enzimas, lo que reduce su función. La apoptosis, por ejemplo, es la respuesta al estrés oxidativo que produce la liberación de citocromo C (Zomeño & Almela, 2021). La toxicidad del Al proviene de sus formas solubles, particularmente del tipo trivalente (Al^{3+}), el cual es promotor de la oxidación mediada por radicales superóxidos (Zomeño & Almela, 2021).

Los métodos para el análisis de los metales mencionados en alimentos, desarrollados por la AOAC (*Association of Official Analytical Collaboration*), son reconocidos a nivel mundial y están diseñados para cumplir con estándares internacionales, como los establecidos por el Codex Alimentario, así como con regulaciones locales de organismos como la FDA, la Unión Europea y otras entidades

regulatorias. Los métodos AAS (Absorción Atómica) son ideales para muestras con pocas interferencias, mientras que el ICP-MS es preferible para análisis multi-elementales en matrices complejas debido a su tolerancia a interferencias. A continuación, se describe el método AOAC 999,11 para análisis de Pb, Hg, Cd, Al y As en alimentos: Técnica: Espectrometría de Absorción Atómica (AAS) con cámara de grafito.

- Aplicación: Análisis en alimentos sólidos y líquidos (frutas, verduras, lácteos, cereales, bebidas, etc.).
- Preparación de muestra: Digestión ácida con mezcla de ácidos nítrico y perclórico en sistema abierto.

- Límites de detección:
 - o Pb: 0,01–0,1 mg/kg
 - o Cd: 0,002–0,1 mg/kg
 - o As: 0,001–0,05 mg/kg
 - o Hg: 0,001–0,02 mg/kg

Analizar la presencia de metales pesados en alimentos implica el uso de métodos analíticos acompañados de revisión bibliográfica que permita identificar tendencias en la contaminación de estos metales en los alimentos. Adicionalmente, se brinda a los consumidores información acerca de los límites permitidos y los riesgos a la salud que implica cada metal. Con este fin, se realizó una búsqueda bibliográfica que respalda el desarrollo de este estudio, detallada en la siguiente sección.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio bibliográfico en bases de datos como Scopus, Researchgate y motores de búsqueda como Google Scholar,

en el rango de años entre 1992-2024. Entre los estudios, ocho corresponden a Pb, siete a Hg, dos a Al, dos a Cd y uno a As.

RESULTADOS

Los principales hallazgos de los estudios analizados acerca de la contaminación de alimentos con

Pb, Hg, Al, Cd y As en Ecuador se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis de los metales presentes en alimentos, límites permitidos por la OMS y resultados relevantes

Metal	Alimento	Límite permitido por OMS (mg/kg)	Concentración del metal (mg/kg)	Método de detección	LOD o LQD (mg/kg)	Resultados relevantes	Referencia
Pb	Cangrejo rojo	0,20	11,17 0,40		LOD: 0,1 LQD: 0,5	Se encontraron altos contenidos de Pb en el tejido blando de cangrejo destinado a consumo humano.	(Ayala-Armijos, 2015)
	Granos de soja	0,20	3,01 0,15		LOD: 0,01 LQD: 0,02	Las raíces de la planta absorbieron Pb de insumos químicos, residuos agrícolas, provocando una bioacumulación en el grano de soja.	(Barragan Montroy et al., 2023)
	Convina	0,20	0,27 0,02		LOD: 0,01 LQD: 0,03	El Pb se libera en el agua por diversas fuentes como la actividad industrial, la minería. Puede ser absorbido por los peces a través de sus branquias.	(Senior et al., 2016)
	Tilapia		0,20 0,03				
	ALún		0,19 0,02				
	Calamar gigante	0,20	0,13 a 0,45	Espectrometría de absorción atómica con llama (AAS)		El Pb se libera en el agua por diversas fuentes como la actividad industrial, la minería. Puede ser absorbido por especies marinas como el calamar.	(Salvatierra, 2022)
	Carnes	0,10	0,20 0,02		LOD: 0,1 LQD: 0,5	Se encontró Pb en el suelo y agua destinados al riego.	(Khalafalla et al., 2016)
	Leche cruda	0,02	0,20 0,04		LOD: 0,1 LQD: 0,8	El Pb proviene del agua y los alimentos para el ganado, lo que resulta en la transferencia de este metal a la leche.	(Cueva et al., 2021)
	Cacao	0,20	0,17 0,05		LOD: 0,01 LQD: 0,05	El Pb presente en las gasolinas de Ecuador puede incidir en el proceso de secado sobre el asfalto.	(El Salouh & Pascual, 2018)
	Cereales	0,20	0,12 0,003	Plasma acoplado inductivamente (ICP)	LOD: 0,01 LQD: 0,05	Los fertilizantes orgánicos contenían metales pesados como el Pb.	(Shimbo et al., 2001)
Hg	Lechuga	0,30	0,08 0,01	Espectrometría de absorción atómica con llama (AAS)	LOD: 0,01 LQD: 0,02	El Pb es absorbido por las células de las hojas.	(Vázquez et al., 2019)
	Guaju (A. solan-dri)		8,51-11,76 (variación por semillas)	ICP	LOD: 0,001 LQD: 0,23	La cantidad de Hg varía conforme al tiempo de pesca del pez y al tamaño, edad y sexo. El guaju es un pez migratorio, lo que puede aumentar su contenido de Hg.	(Cevallos, 2017)
	Concha (A. tuberculosa)	0,47	2,85-4,95	CV-AAS	LOD: 0,5 LQD: 1	El tamaño de las muestras de conchas es inversamente proporcional a la cantidad de Hg. Las muestras más pequeñas, entre 3 a 3,9 cm, sobrepasaron el límite permisible 10 veces.	(Collaguazo et al., 2017)

Hg	Agua (de consumo directo)	0,47	0,08-1,15	Espectrometría de absorción atómica por generación de vapor frío (CV-AAS)	LOD: 0,17 LOQ: 0,486	La concentración de Hg que se obtuvo de las muestras fue más elevada en época de lluvias debido al barrido que estas ocasionan.	(Esmeraldas & Zambrano, 2018)
	Camarón blanco (<i>L. vannamei</i>)		0,06-0,03	AAS	LOD: 0,5	Los camarones de piscina tienen más Hg que los de mar. Pese a que es poco, con el control de calidad que se realiza, no debería existir Hg en los camarones.	(Moroco, 2023)
	Leche de vaca		0,011	AAS	LOD: 0,05	El contenido de Hg en el agua de afluentes del que bebe el ganado es superior al límite permitido. Esto podría explicar la contaminación en el ganado y en la leche extraída.	(Ayala & Bonilla, 2013)
Al	Colada de ave- na (<i>Solium quitoense</i>)	1,00	0,76-2,40	AAS	LOD: 0,12 LOQ: 0,4	La concentración de Al en todas las ollas se encuentra por sobre el límite permitido durante los siete ciclos de cocción.	(Fukalova et al., 2020)
	Arroz blanco (<i>Oryza sativa</i> L.)		0,40-5,12	AAS	LOQ: 0,4	La concentración de Al fue descendiendo en cada ciclo de cocción.	(Cisneros et al., 2019)
Cd	Arroz	0,4	0,02 - 0,04	ICP	LOQ: 0,1-60	El Cd ingresa a las semillas del arroz a través de la irrigación con agua contaminada con este elemento. En general las raíces de los cereales son donde se acumula en mayor medida.	(Ochoa et al., 2020)
		0,05	0,016	ICP	LOD: > 0,001	Las muestras de camarón recolectadas no presentaron altos niveles de Cd, aun con un nulo tratamiento	(Ávila Franco, 2021)
As	Gramos de cacao	0,002	0,5	AAS	LOD: 0,0171	El As presente en el cacao se asocia a la presencia del metal en los suelos de cultivo.	(Alban, 2023)

LOD: Límite de detección

LOQ: Límite de cuantificación

DISCUSIÓN

En el caso del Pb, los niveles encontrados en alimentos como el cangrejo rojo ($11,17 \pm 0,40$ mg/kg) superan en gran medida el límite permitido por la OMS de $0,20$ mg/kg (Ayala-Armijos, 2015). Los estudios sobre pescados como la tilapia, atún y corvina mostraron concentraciones de Pb que, aunque dentro del límite, evidencian que este metal se encuentra en el ambiente acuático debido a la actividad industrial y la minería. Estos peces absorben el Pb a través de sus branquias, lo que evidencia el riesgo para los consumidores de estos mariscos (Senior et al., 2016). A pesar de que los niveles en algunos de estos productos no superan el límite de $0,20$ mg/kg, la constante exposición al Pb por medio de estos alimentos podría representar peligro a largo plazo. Por otro lado, en el caso de los calamares gigantes (*Dosidicus gigas*), el contenido de Pb oscila entre $0,13$ y $0,45$ mg/kg, un valor que también se encuentra dentro del límite permitido por la OMS (Salvatierra,

2022). Sin embargo, esto evidencia los peligros de los metales pesados en los cuerpos de agua para las especies marinas, con el Hg y el Pb como principales contaminantes en el entorno acuático. Con relación a las leguminosas, el estudio que determinó una mayor concentración de Pb, fue el de Barragan Monrroy et al. (2023), la concentración promedio de este contaminante fue $3,01$ mg/kg en soja, atribuido principalmente a la contaminación de este metal que proviene de fertilizantes o plaguicidas. Otros productos agrícolas como cacao y cereales presentaron concentraciones de $0,17$ y $0,12$ mg/kg respectivamente, en ambos casos atribuyéndose la presencia del metal pesado a actividades antropogénicas (El Salous & Pascual, 2018; Shimbo et al., 2001). La leche cruda superó estos límites ($0,20 \pm 0,04$ mg/kg), atribuyéndose esta contaminación a la transferencia desde el agua y los alimentos que consume el ganado (Cueva et al., 2021). Es importante destacar que,

según la normativa ecuatoriana NTE INEN 9, el límite permitido de Pb en leche está establecido en 0,02 mg/kg. En cuanto a la carne, los resultados duplican los límites permitidos. El alimento con menor contenido de Pb reportado por Vázquez (2019), dentro de 50 productos vegetales de la ciudad de Cuenca, la lechuga fue el alimento con menor concentración (0,09 mg/kg).

El Pb es el metal con más alimentos contaminados reportados por la Agencia Nacional de Regulación y Vigilancia Sanitaria (ARCSA) con aproximadamente 15 productos distintos reportados con niveles de contaminación con Pb superiores a los límites permitidos. En noviembre del 2023 se reportó alto contenido de Pb en dos marcas de puré de manzana con canela, un producto consumido especialmente por niños de edades temprana. La Agencia mencionó cómo esta contaminación se encuentra relacionada al uso de canela ya contaminada en el proceso de elaboración de estos productos

(ARCSA, 2024c). De acuerdo con un listado de productos con niveles de contaminación emitidos por la entidad, desde marzo del 2024 se reportaron: dos marcas de canela, dos de salsa de tomate, una de embutidos, una de premezcla para repostería, una marca de jugo detox y tres marcas de queso con altos contenidos de este metal. La mayoría de estos productos se comercializaban libremente en varios supermercados del país, muchos incluso reportaron daños en los consumidores (ARCSA, 2024d).

En la Tabla 2, se muestra la relación a niveles de Pb reportados en otros países. Múltiples autores mencionan la contaminación por Pb presente en hortalizas dentro del Perú. J. Rodríguez, (2018) describió el límite más bajo, 0,000569 mg/kg, en zanahorias; límite muy por debajo del recomendado por la OMS. Por otra parte, Guimarey & Reategui (2020) encontraron 0,073 mg/kg en papas fritas de diferentes lugares de venta de pollo frito. Los autores sugieren que, aunque no

se superen los límites permitidos, se debe tomar en cuenta aquellos envases y prácticas que produzcan creen contaminación de metales y, aunque estos alimentos no fueron analizados en el Ecuador, las prácticas y envases son iguales en ambos países por lo que se podría esperar niveles similares de contaminación.

Por otra parte, se encontraron estudios donde se reporta que se sobrepasa el límite permitido de Pb; por ejemplo, Bracamonte & Bulnes (2019) hallaron niveles de 0,679 mg/kg en queso en Perú y Khalafalla et al. (2016) encontraron 0,20 mg/kg en cárnicos ecuatorianos; ambos productos poseen el mismo nivel de detección al ser de origen animal. Lo que sugiere que la contaminación en animales debido a su dieta es menor en el Ecuador.

En España, en un estudio se encontró un promedio de 0,3 mg/kg de Pb en las muestras, esta cantidad se encuentra justo en el límite permitido y es 3,75 veces mayor a lo encontrado

dentro de lechugas en el Ecuador (Armendáriz, 2002). Finalmente, el estudio de Nejatolahi et al. (2014) en Irán encontró niveles que oscilan entre los 0,03 y 0,64 en hojas de té que, aunque en Ecuador no existen estudios, se debe tomar en cuenta la contaminación de Pb que existe dentro de la tierra de diferentes cultivos puesto que muchas muestras analizadas en el pasado estudio superan el límite recomendado.

Tabla 2. Análisis de Pb en alimentos en diferentes países

País	Alimento	Contenido de Pb (mg/kg)	Referencia
España	Hortalizas del género Brassica	0,3	(Armendáriz, 2002)
Perú	Zanahoria	0,000569	(J. Rodríguez, 2018)
Perú	Papas fritas	0,073	(Guimarey & Reategui, 2020)
Perú	Queso	0,679	(Bracamonte & Bulnes, 2019)
Irán	Hojas de la planta de té <i>Camellia sinensis</i>	0,03-0,64	(Nejatolahi et al., 2014)

Sobre el Hg, los estudios revelan concentraciones preocupantes en varios alimentos, especialmente en productos marinos. En muestras de pescado guaju (*A. solandri*), un pez migratorio, se encontraron niveles de Hg entre 8,51 y 11,76 mg/kg, lo que sugiere que las especies migratorias están más expuestas a la contaminación del agua (Cevallos, 2017). Las conchas (*A. tuberculosa*) presentaron concentraciones de Hg que superaron el límite permitido, especialmente en muestras pequeñas, lo que resalta cómo el tamaño de las especies influye en la acumulación del metal (Collaguazo et al., 2017).

En cuanto a los productos del mar, se analizaron varios alimentos como mariscos frescos y enlatados en diferentes ciudades del país. Loo-Bravo (2023) y su grupo estudiaron 152 muestras de pez espada que llegaron al puerto de Manta; solo una de ellas (0,74 %) tenía la concentración de Hg dentro de los niveles seguros. El estudio concluyó que el tamaño del espécimen de pez influye

directamente sobre la cantidad del metal dentro de sus músculos, pues entre más grande sea, mayor mercurio tendrá (Loo-Bravo et al., 2020).

En el análisis de camarones de piscina y de mar realizado por Morocho (2023), se encontró que en ninguno de los casos se superan los niveles recomendados de Hg para la ingesta. Sin embargo, se debe destacar que los camarones criados en piscinas tenían más Hg promedio (0,065 mg/kg) que los que provenían del mar (0,037 mg/kg) debido a la contaminación del agua empleada (Morocho, 2023).

En peces, otros investigadores encontraron que los filetes de tilapia que se venden congelados en los supermercados contienen niveles peligrosos de Hg (Senior et al., 2016). Se estudiaron también filetes de pez dorado, aunque estos no mostraron niveles peligrosos para la salud debido a la revisión periódica del alimento (Senior et al., 2016). Pico-Lozano & Cevallos-Rivera (2016), analizaron muestras de atún enlatado. Este producto ya es conocido por la

contaminación de Hg que posee. Se analizaron 50 muestras de conservas de atún con fecha de envasado de enero a mayo del mismo año. Los resultados no mostraron porcentajes riesgosos de Hg en el atún, pero se logró observar un incremento de las concentraciones proporcional al tiempo de envasado y de conservación del producto, por lo que se sugirieron otros estudios (Pico-Lozano & Cevallos-Rivera, 2016).

En un estudio de muestras de agua realizado en la provincia de Manabí, se determinó que los niveles de Hg superaron el nivel permitido para agua de consumo humano, en todos los casos (Esmeraldas & Zambrano, 2018).

En el caso de la leche de vaca, la concentración de Hg fue de 0,011 mg/kg, que, a pesar de encontrarse dentro del límite establecido por la OMS, es relevante cuando se considera la posible fuente de contaminación. Según el estudio de Ayala & Bonilla (2013), el Hg presente en la leche podría estar relacionado con la contaminación

del agua del río que consume el ganado.

De acuerdo con el portal web de ARCSA, en Ecuador se han realizado varios reportes de atún enlatado con altos contenidos de Hg. Pese a ser reportes en diferentes años (2016 al 2018) todos estos reportes mencionan la alta cantidad de este metal pesado en lotes de atún colombiano, tres enlatados en agua y uno en aceite. La institución menciona que estos productos no se venden dentro del Ecuador debido a que no tienen las regulaciones necesarias y aunque dentro del país si se comercializa estas mismas marcas, son elaboradas por diferentes empresas. Pese a los múltiples reportes de contaminación de Hg en mariscos que existen, la agencia no ha presentado un comunicado oficial sobre otros productos (ARCSA, 2017).

Al comparar los niveles de Hg con otros países, en la Tabla 3 se resumen algunos de ellos. En Italia, según el estudio realizado por Galimberti et al. (2016), 0,58 mg/kg en atún, este nivel supera

al nivel máximo encontrado en Ecuador de 0,36 mg/kg y ambos superan al nivel permitido por las regulaciones vigentes en ambos países pese a que también es uno de los más consumidos. Armendáriz (2002) analizó peces de tamaño medio y grande en España, obteniendo niveles de 0,1189 mg/kg de Hg y Palma (2009) reportó 0,3 mg/kg dentro del hígado de la tilapia en Venezuela, estos niveles resultan más bajos al encontrado en la tilapia dentro del Ecuador, 1,44 mg/kg. Sin embargo, otro estudio realizado en Costa Rica por Chacón et al. (2016) reportó niveles de Hg de 1,12 mg/kg en pez vela. Este nivel es mayor a los reportados en España y Venezuela, y se puede deber a la diferencia entre los peces analizados. Aun así, se debe señalar que el nivel reportado en pez vela es muy cercano al reportado en Ecuador en tilapia, lo que puede sugerir una mayor cantidad de Hg presente en peces de menor tamaño dentro del Ecuador. Adicionalmente, el equipo de López D. et al. (2020) encontró contaminación de

este metal en papas en Perú y, si bien el contenido encontrado de 0,000569 mg/kg no supera los límites permitidos, sugiere que la contaminación por Hg está presente en otro tipo de alimentos además de los mariscos.

Tabla 3. Análisis de Hg en alimentos en diferentes países

País	Alimento	Contenido de Hg (mg/kg)	Referencia
España	Productos de la pesca (peces de tamaño medio y grande)	0,1189	(Armendáriz, 2002)
Perú	Papa	0,000569	(López D. et al., 2020)
Venezuela	Hígado de pescado de Tilapia	0,3	(Palma, 2009)
Costa Rica	Pescado Vela	1,1382	(Chacón et al., 2016)
Italia	Atún	0,58	(Galimberti et al., 2016)

En el caso del Al, en muestras de la colada de naranjilla (*Solanum quitoense*), los niveles de aluminio encontrados fueron de 0,76 a 2,40 mg/kg, superando el límite permitido en todos los ciclos de cocción analizados. Esto indica que, independientemente del ciclo de cocción, el uso de utensilios de cocina, especialmente de aluminio, puede

contribuir significativamente a la contaminación por este metal en los alimentos (Fukalova et al., 2020). Por otro lado, en el arroz blanco (*Oryza sativa* L.), se encontró que la concentración de aluminio estuvo en un rango entre 0,40 y 5,12 mg/kg. Sin embargo, se observó una reducción de la concentración de Al en cada ciclo de cocción, lo que sugiere que el proceso de cocción podría reducir la cantidad de metal presente en el arroz (Cisneros et al., 2019). Estos resultados subrayan la importancia del tipo de utensilio y el proceso de cocción de los alimentos en la acumulación de metales pesados como el Al.

El Al no consta en reportes de contaminación de alimentos reportados por ARCSA. En marzo del 2024 la entidad informó que los estudios sobre supuesta contaminación de leche con Al aun eran inconclusos, por lo que se descartó que estos lotes sí estuviesen contaminados (Vistazo, 2024).

En comparación, investigaciones en países como Argentina y

España (Tabla 4), han reportado niveles de Al en carne cocida, comida rápida y comida procesada que varían entre 1,0-2,1, 2,09-5,83 y 1,68-2,50 mg/kg, respectivamente (Iezzi et al., 2019; Zegarra, 2020; Marrero, 2019), lo que sugiere que la contaminación por Al en Ecuador es comparable a la de otros contextos internacionales. Sin embargo, el uso de utensilios de cocina en Ecuador; podría estar contribuyendo a la migración de este metal a los alimentos, un fenómeno que también ha sido documentado en estudios globales (Sargazi et al., 2001).

Tabla 4. Análisis de Al en alimentos en diferentes países

Pais	Alimento	Contenido de Al (mg/kg)	Referencia
Argentina	Carne cocida (bovina)	1,0-2,1	(Iezzi et al., 2019)
España	Carne procesada (vacuna)	1,68-2,50	(Marrero, 2019)
España	Comida rápida (productos vegetarios como espinaca)	2,09-5,83	(Zegarra, 2020)

En cuanto al Cd, un estudio sobre el arroz reportó concentraciones entre 0,02 y 0,04 mg/kg, niveles relativamente bajos que podrían estar relacionados con el uso de agua de riego contaminada con metales pesados. Este metal se acumula principalmente en las raíces de los cereales, lo que refuerza la hipótesis de que el agua de riego es una fuente clave de contaminación (Ochoa et al., 2020).

Por otro lado, en el camarón (*Litopenaeus vannamei*), los niveles de Cd fueron mucho más bajos, con una concentración de 0,016 mg/kg, lo que indica que los camarones no presentaron niveles preocupantes de este metal, incluso sin tratamiento. Esto sugiere que los sistemas de acuicultura, especialmente en mariscos, pueden ser menos susceptibles a la contaminación por Cd en comparación con los cultivos terrestres (Ávila Franco, 2021).

El Cd es el metal con reportes más recientes emitidos por ARCSA. El primero data de agosto del

2024 y señala una marca de sal yodada con altos niveles; el lote mencionado en el reporte se retiró de forma inmediata del mercado (ARCSA, 2024b). El más reciente fue emitido el 28 de noviembre del 2024 y reporta niveles altos de este metal en proteínas en polvo suplementarias con base de leche y de avena; se pidió el retiro inmediato de los lotes reportados (ARCSA, 2024a)

En comparación con otros países, mostrados en la Tabla 5, como Colombia, en donde se han reportado niveles de Cd en cacao de hasta 0,8 mg/kg, Ecuador posee un menor nivel de contaminantes dentro de este cultivo. (Bravo et al., 2024). China y Perú presentaron los niveles más bajos del metal siendo 0,05 y 0,1 mg/kg en alimentos como tilapia y papas, respectivamente (Qin et al., 2021; Bedoya-Perales et al., 2023). Por otro lado, en Nueva Zelanda los estudios de Cavanagh et al. (2019) en cebolla, espinaca y lechuga encontraron concentraciones de 0,2 mg/kg.

Tabla 5. Análisis de Cd en alimentos en diferentes países

País	Alimento	Contenido de Cd (mg/kg)	Referencia
Colombia	Cacao	0,8	(Bravo et al., 2024)
China	Tilapia	0,05	(Qin et al., 2021)
Nueva Zelanda	Cebolla	0,2	(Cavanagh et al., 2019)
	Espinaca	0,2	(Cavanagh et al., 2019)
	Lechuga	0,2	(Cavanagh et al., 2019)
Perú	Papas	0,1	(Bedoya-Perales et al., 2023)

Finalmente, en relación con el As, en granos de cacao se encontró una acumulación de 0,5 mg/kg, un nivel que podría estar asociado con la presencia de este metal en los suelos de cultivo. El uso de pesticidas y fertilizantes contaminados, o la calidad del agua que se utiliza en la agricultura, podría ser una fuente importante de este metal en los alimentos (Albán, 2023). Dado que el cacao es un cultivo de gran relevancia en Ecuador, es importante considerar las prácticas agrícolas y los posibles riesgos para la salud que podrían

derivarse de la acumulación de As en los granos.

El reporte emitido en marzo del 2024 menciona también varios productos con altos contenidos de As, en el listado constan: una marca de atún enlatado con aceite de oliva, una marca de arroz blanco, una de arroz para risotto, una de salsa de tomate, una de embutidos y una marca de agua embotellada con gas. De este listado de productos solo tres fueron retirados del mercado, estos fueron: los embutidos, el arroz blanco y el agua embotellada (ARCSA, 2024d).

En la Tabla 6, se muestran investigaciones de niveles de As en alimentos en otros países. En Brasil se han reportado concentraciones de As en helado, yogurt y sardinas enlatadas que alcanzan hasta 0,002 mg/kg (Kiyataka et al., 2015; Kiyataka et al., 2014; De Mello Lazarini et al., 2019). Además, estudios en Corea e India presentaron el mismo nivel de concentración para un simulante alimentario (ácido acético al 4 %) (Kiyataka et al.,

2015) y en Grecia para pasta de tomate (Raptopoulou et al., 2014). En China, el estudio de Yao et al. (2022) en granos de arroz también reveló una concentración de 0,002 mg/kg, al igual que un estudio de Han et al. (2024) en Corea acerca de fideos instantáneos.

Tabla 6. Análisis de As en alimentos en diferentes países

País	Alimento	Contenido de As (mg/kg)	Referencia
Grecia	Pasta de tomate	0,002	(Raptopoulou et al., 2014)
Brasil	Yogur	0,002	(Kiyataka et al., 2014)
Corea	Simulante alimentario (ácido acético 4%)	0,002	(Kiyataka et al., 2015)
China	Granos de arroz	0,002	(Yao et al., 2022)
Brasil	Sardinias enlatadas	0,002	(de Mello Lazarini et al., 2019)
India	Simulante alimentario (ácido acético 4%)	0,002	(Kiyataka et al., 2015)
Brasil	Helado	0,002	(Kiyataka et al., 2015)
Corea	Fideos instantáneos	0,002	(Han et al., 2024)

En general, estos estudios resaltan la presencia de metales pesados en diversos alimentos

en Ecuador, con variaciones en su concentración dependiendo de la fuente de contaminación, el tipo de alimento y el proceso de preparación. La irrigación con agua contaminada, el uso de utensilios de cocina y las condiciones del suelo agrícola son factores determinantes en la acumulación de metales como Pb, Hg, Al, Cd y As en los alimentos. Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar regulaciones más estrictas y sistemas de monitoreo eficaces para proteger la salud pública.

Varias medidas deben ser consideradas para prevenir la contaminación de alimentos con estos metales pesados. Particularmente, tras la revelación del ARCSA de un listado de alimentos con altos niveles de metales pesados que son destinados a exportación como la canela y el cangrejo rojo, es imprescindible un monitoreo exhaustivo de los suelos agrícolas, así como de las fuentes agua, con el objetivo de evitar la acumulación de metales pesados. Considerando

la contaminación por Hg en pez guaju, es de vital importancia el control de áreas pesqueras que pueden estar sujetas a contaminación por operaciones mineras. Por otra parte, si bien la contaminación por Al no es significativa en avena y arroz, las fuentes de contacto durante el procesamiento y almacenamiento deben ser vigiladas para evitar acumulación en alimento de consumo frecuente.

Con respecto a la alarmante contaminación por As en alimentos como chocolate y los niveles permisibles de Cd en productos como el arroz y camarones, es aconsejable un mejor manejo en

cuanto a fertilización química. Además del uso de filtros en los sistemas de riego y un mejor control en el uso de fertilizantes y pesticidas. Es crucial que los alimentos sean procesados en establecimientos acreditados que reduzcan el peligro de contaminación. El material de utensilios que está en contacto con los alimentos debe ser estable para evitar reacciones adversas que desencadenen la liberación de metales. Finalmente, se debe enfatizar el control de envases sin trazas de metales y que durante el almacenamiento de los alimentos no haya contacto con fuentes de metales pesados.

CONCLUSIÓN

El análisis de los niveles de metales pesados como plomo (Pb), mercurio (Hg), aluminio (Al), cadmio (Cd) y arsénico (As) en alimentos consumidos en Ecuador muestra una preocupante presencia de estos contaminantes en diversos productos de la cadena alimentaria. Los resultados

revelan que ciertos alimentos, especialmente mariscos, pescados y productos agrícolas, presentan concentraciones que superan los límites establecidos por organismos internacionales como la OMS, lo que indica un riesgo potencial para la salud pública.

El Pb se encontró en concentraciones significativas en alimentos como el cangrejo, los granos de soja y ciertos pescados, principalmente debido a la contaminación ambiental, que incluyen residuos industriales y la minería. Por otro lado, el Hg también aparece en niveles elevados en especies marinas como el guaju, la tilapia y el camarón; esto evidencia la contaminación de los ecosistemas acuáticos, en gran parte, debido a la actividad industrial y minera. Además, la leche de vaca muestra una baja pero relevante concentración de Hg, asociada a la contaminación del agua consumida por el ganado. Con relación al Al y Cd, los alimentos analizados estuvieron dentro de los límites permitidos por la OMS; sin embargo, el As presente en el cacao, presentó un valor superior.

La contaminación de alimentos por metales pesados no solo representa una amenaza directa para la salud de los consumidores, sino que subraya la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo y control en el país. Las prácticas agrícolas y acuícolas deben ser mejoradas para reducir la exposición a estos contaminantes, a la vez que las autoridades deben implementar políticas más estrictas para prevenir la contaminación ambiental y garantizar la seguridad alimentaria.

En conclusión, este estudio resalta la urgencia de continuar investigando la contaminación por metales pesados en productos de consumo humano y de adoptar medidas preventivas para proteger la salud pública y promover un consumo seguro y saludable en Ecuador.

LISTA DE REFERENCIAS

- Agudelo, A. (2016). Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera.
- Ahmed, M. K., Baki, M. A., Islam, M. S., Kundu, G. K., Habibullah-Al-Mamun, M., Sarkar, S. K., & Hossain, M. M. (2015). Evaluación del

riesgo para la salud humana de los metales pesados en peces y mariscos tropicales recolectados en el río Buriganga, Bangladesh. *Ciencia Ambiental e Investigación de la Contaminación*, 22(20), 15880–15890. <https://doi.org/10.1007/S11356-015-4813-Z/TABLES/4>

Al-Ameri, T. K. (2013). Sistemas petrolíferos de los yacimientos petrolíferos iraquíes. *Actas*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20131460>

Albán Ávila, O. G. (2023). Determinación de metales pesados en suelos de cultivo y en granos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) pertenecientes a la zona litoral central del Ecuador (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Carrera de Biotecnología).

Alfago, V. M. S. (2022). Determinación de metales pesados (cadmio y plomo) en el calamar gigante (*Dosidicus Gigas*) en la Ciudad de Manta, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 11.

Ali, H. S., Almashhadany, D. A., & Khalid, H. S. (2020). Determinación del contenido de metales pesados y selenio en hígado de pollo en la ciudad de Erbil, Irak. *Revista Italiana de Seguridad Alimentaria*, 9(3). <https://doi.org/10.4081/ijfs.2020.8659>

Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA). (s.f.). Contaminantes ambientales en los alimentos. <https://www.fda.gov/food/chemical-contaminants-pesticides/environmental-contaminants-food>

Alvarado Ibarra, J., Sotelo Lerma, M., Figueroa, D. M., Franco, M. M., Abraham, F., & Moreno, P. (2013). Evaluación de la potencialidad de una chabasita natural mexicana en la remoción de plomo en agua. *En Rev. Int. Contam. Ambie* (Vol. 29, Número 2).

ARCSA. (2017). Lotes de atún colombiano superan los niveles permitidos de mercurio. <https://www.controlsanitario.gob.ec/lotes-de-atun->

colombiano-superan-los-niveles-permitidos-de-mercurio/

ARCSA. (2024a). Arcsa detecta contaminación con cadmio en lotes de tres suplementos alimenticios de URBANPROTEIN S.A. <https://www.controlsanitario.gob.ec/arcsa-detecta-contaminacion-con-cadmio-en-lotes-de-tres-suplementos-alimenticios-de-urbanprotein-s-a>

ARCSA. (2024b). Arcsa detecta contaminación con metal pesado (cadmio) en lote 02/24 del producto SAL DE MESA YODADA Y FLUORURADA de la marca «MAR Y SAL». <https://www.controlsanitario.gob.ec/arcsa-detecta-contaminacion-con-metal-pesado-cadmio-en-lote-02-24-del-producto-sal-de-mesa-yodada-y-fluorurada-de-la-marca-mar-y-sal/>

ARCSA. (2024c). ARCSA informa sobre Retiro del Mercado de WanaBana Apple Cinnamon Fruit Purée (puré de frutas de MANZANA Y CANELA de WanaBana). <https://www.controlsanitario.gob.ec/arcsa-informa-sobre-retiro-del-mercado-de-wanabana-apple-cinnamon-fruit-puree-pure-de-frutas-de-manzana-y-canela-de-wanabana/>

ARCSA. (2024d). Lotes de productos en los que se han detectado niveles de contaminación en su composición. <https://www.controlsanitario.gob.ec/lotes-de-productos-que-han-presentado-incumplimientos-por-contaminantes-en-su-composicion/>

Armendáriz, C. (2002). Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la Comunidad Autónoma Canaria: Evaluación Toxicológica (pp. 79–81). <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/10794/cp185.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aoshima, K. (2016). Enfermedad de Itai-itai: Osteomalacia tubular renal inducida por la exposición ambiental al cadmio: revisión histórica y perspectivas. *Ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 62(4), 319–326.

<https://doi.org/10.1080/00380768.2016.1159116>

Averina, M., Bjørke-Monsen, A.-L., Bolann, B. J., Brox, J., Eggesbø, M., Hokstad, I., Huber, S., & Ørebech, P. (2022). Alto nivel de metales pesados en la carne de cangrejo. *Revista de la Asociación Médica Noruega*. <https://doi.org/10.4045/tidsskr.22.0317>

Ávila Franco, G. T. (2021). Evaluación de metales pesados plomo y cadmio en camarón (*Litopenaeus Vannamei*) expendido en la ciudad de Manta, Ecuador. <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/4148>

Ayala, J., & Bonilla, H. (2013). Presencia de metales pesados (arsénico y mercurio) en leche de vaca al sur de ecuador. *17(1)*, 36–46. Issn: 1390-3799

Ayala-Armijos. (2015). Cuantificación de metales pesados (Hg, As, Pb y Cr) en organismos acuáticos: cangrejo rojo (*Ucides occidentalis*).

Barragan Monroy, R. J., Bravo Sánchez, L. R., & Torres Puentes, J. C. (2023). Cuantificación de cadmio y plomo en granos de soja (*Glycine max*) comercializados en el cantón quevedo, ecuador. *Revista Bases de La Ciencia*, 7(especial), 37–50. <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4242>

Barrento, S., Marques, A., Teixeira, B., Carvalho, M. L., Vaz-Pires, P., & Nunes, M. L. (2009). Acumulación de elementos (S, As, Br, Sr, Cd, Hg, Pb) en dos poblaciones de pagurus de Cáncer: Implicaciones ecológicas para el consumo humano. *Food Chem. Toxicol.*, 47(1), 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2008.10.021>

Bedoya-Perales, N. S., Maus, D., Neimaier, A., Escobedo-Pacheco, E., & Pumi, G. (2023). Evaluación de la variación de metales pesados y residuos de plaguicidas en cultivares de papa nativa y moderna (*Solanum tuberosum* L.) cultivados a diferentes altitudes en una

región minera típica del Perú. *Toxicology Reports*, 11, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.06.005>

Biswas, A., Biswas, S., & Santra, S. C. (2012). Riesgo de las hortalizas y legumbres de invierno producidas en zonas endémicas de arsénico del distrito de Nadia: comparación del estudio de campo con la encuesta de la cesta de la compra. En *Boletín de Contaminación Ambiental y Toxicología* (Vol. 88, Número 6, pp. 909-914). <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0569-z>

Bowell, R. J., Lagos, L., de los Hoyos, C. R., & Declercq, J. (2020). Clasificación y características de los recursos naturales de litio. *Elementos*, 16(4), 259–264. <https://doi.org/10.2138/gselements.16.4.259>

Bracamonte, G., & Bulnes, J. (2019). Evaluación del contenido de plomo Y Cadmio en el queso andino producido en el distrito de chiquian - Ancash. <http://168.121.236.53/bitstream/handle/20.500.14278/3249/48939.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Bravo, D., Quiroga-Mateus, R., López-Casallas, M., Torres, S., Contreras, R., Otero, A. C. M., Araujo-Carrillo, G. A., & González-Orozco, C. E. (2024). Evaluación del contenido de cadmio de los cultivos de cacao en Arauca, Colombia. *Monitoreo y Evaluación Ambiental*, 196(4), 387. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12539-9>

Carlos, J., & Ortiz, R. (2014). Elementos traza en fertilizantes y abonos utilizados en agricultura orgánica y convencional. In *Rev. Mex. Cienc. Agríc* (Vol. 5).

Casaburi, M., Flamini, N., & Lettieri, J. (2019). Revisión bibliográfica sobre la migración de metales y otros elementos desde utensilios de cocina hacia los alimentos. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Medicina, Escuela de Nutrición. http://old.fmed.uba.ar/escuelanutricion/revistani/pdf/19a/rb/832_c.pdf

- Castle, L. (2006). Migración química a los alimentos: una descripción general. En K. Barnes, C. Sinclair & D. Watson (Eds.), *Chemical migration and food contact materials* (pp. 1–25). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9781845692094.1>
- Cavanagh, J.-A. E., Yi, Z., Gray, C. W., Munir, K., Lehto, N., & Robinson, B. H. (2019). Absorción de cadmio por cebollas, lechugas y espinacas en Nueva Zelanda: implicaciones para el manejo de cumplir con los límites regulatorios. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 668, 780–789. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.010>
- Cevallos, G. (2017). Determinación de mercurio en “Guaju o Sierra Golfina” (*Acanthocybium solandri*) en el mercado de mariscos Playita Mía, cantón Manta, provincia de Manabí. [Tesis de grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]. Repositorio Institucional, Universidad Eloy Alfaro.
- Chacón, Y., Rodríguez, J., Sierra, H., Piedra, G., & Chaberri, F. (2016). Evaluación de los niveles de mercurio en productos pesqueros en Costa Rica, durante 2003–2013, como insumo para recomendar una ingesta semanal tolerable. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 25(1), 19–26.
- Cisneros, K., Tapia C., I., Goetschel, L., & Fukalova F., T. (2019). Evaluación de migración de aluminio durante la cocción de arroz blanco en ollas de aluminio. *Infoanalítica*, 7(2), 57–69. <https://doi.org/10.26807/ia.v7i2.103>
- Collaguazo, Y., Ayala, H., Machuca, G. (2017). Cuantificación de metales pesados en (Mollusca:bivalvia) del estero Huaylá de Puerto Bolívar, por espectrofotometría de absorción atómica. *Ciencia UNEMI*, 10(24), 1-10. ISSN: 2528-7737
- Cueva, F., Naranjo, A., Torres, B. P., & Aragón, E. (2021). Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador.

33(1), 21–30. <https://doi.org/10.17163/LGR.N33.2021.02>

Dai, H.-Z., Liu, S.-B., Wang, C.-H., Yu, Y., Dai, J.-J., Liu, L.-J., Yang, Y.-Q., & Ma, S.-C. (2020). Avances de investigación y exploración sobre depósitos de litio en China. *Geología de China*, 3(1), 137–152. <https://doi.org/10.31035/cg2020018>

D'Itri, F. M. (1992). El ciclo de metilmercurio y otros metales pesados en ambientes lacustres. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 75–91. ISSN: 0186-4076

El Salous, A., & Pascual, A. (2018). Determinación de cadmio, plomo y ocratoxina en la harina proveniente de las cascarillas de dos variedades de cacao en Ecuador. *I+D Tecnológico*, 14(1), 49–53. <https://doi.org/10.33412/idt.v14.1.1802>

Esmeraldas, P., & Zambrano, J. (2018). Evaluación de la concentración de mercurio en agua y sedimento en el río carrizal. [Tesis previa de Doctorado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí] Repositorio institucional Universidad de Manabí.

Eto, K., Marumoto, M., & Takeya, M. (2010). Patología de la intoxicación por metilmercurio (enfermedad de Minamata). *Neuropatología*, 30(5), 471–479. <https://doi.org/10.1111/J.1440-1789.2010.01119.X>

Fernández-Maestre, R. (2014). Aluminio: ingestión, Aluminio: Ingesta, absorción, excreción y toxicidad. *Revista Costar Salud Pública*, 23(2), 113–118.

Fukalova, T., Tapia, I., Quishpe, E., Goetschel, L., & Parra, W. (2020). Estudio de la migración de aluminio desde las ollas a la colada de avena. 3, 15–24. <https://doi.org/10.29019/enfoque.v11n3.571>

Galimberti, C., Corti, I., Cressoni, M., Moretti, V. M., Menotta, S., Galli, U., & Cambiaghi, D. (2016). Evaluation of mercury, cadmium and lead levels in fish and fishery products imported by air in North Italy

from extra-European Union Countries. *Food Control*, 60, 329–337. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.009>

Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). Los efectos de la toxicidad del cadmio. *Revista Internacional de Investigación Ambiental y Salud Pública*, 17(11), 3782. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>

German Reyes, A. M. C. (2000). Mapa geológico generalizado del departamento de arauca. <https://recordcenter.sgc.gov.co/B4/13010000020102/documento/pdf/0101201021101000.pdf>

Gidlow, D. A. (2004). Toxicidad por plomo. En *Medicina del Trabajo* (Vol. 54, Número 2, pp. 76-81). <https://doi.org/10.1093/occmed/kqh019>

González, M., Bodas, A., Rubio, M., Martell, N., Trasobares, E., Ordóñez, J., Guillén, J., Herráiz, M., García, J., Farré, R., Calvo, E., Román, J., Llorente, T., Sáinz, M., Martínez, T., Martínez, J., Bretón, I., Cuadrado, A., Prieto, S., Calle, A. (2014). Efectos sobre la salud del metilmercurio en niños y adultos; estudios nacionales e internacionales. *Nutrición Hospitalaria*, 30(5), 989–1007. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2014.30.5.7728>

Graham-Evans, B., Tchounwou, P. B., & Cohly, H. H. P. (2003). Estudios de Citotoxicidad y Proliferación con Arsénico en Líneas Celulares Humanas Establecidas: Queratinocitos, Melanocitos, Células Dendríticas, Fibroblastos Dérmicos, Células Endoteliales Microvasculares, Monocitos y Células T. *Int. J. Mol. Sci*, 4, 4.

Guimarey, M., & Reategui, J. (2020). Evaluación de plomo y cadmio en papas fritas y su riesgo toxicológico en los consumidores de diez pollerías conocidas del cercado de lima. setiembre - noviembre 2019. (pp. 42–49). https://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13053/3932/T061_41982052_46820032_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Cundert-Remy, U., Damm, G., Foth, H., Freyberger, A., Gebel, T., Golka, K., Röhl, C., Schupp, T., Wollin, K.-M., & Hengstler, J. G. (2015). Alta exposición al arsénico inorgánico por parte de los alimentos: la necesidad de reducir el riesgo. *Archivos de Toxicología*, 89(12), 2219–2227. <https://doi.org/10.1007/s00204-015-1627-1>
- Hasan, M. F., Nur-E-alam, M., Salam, M. A., Rahman, H., Paul, S. C., Rak, A. E., Ambade, B., & Towfiqul Islam, A. R. M. (2021). Evaluación de riesgos para la salud y calidad del agua de aguas superficiales en un río urbano de Bangladesh. *Sostenibilidad* 2021, Vol. 13, página 6832, 13(12), 6832. <https://doi.org/10.3390/SU13126832>.
- Hill, S. J., & Fisher, A. S. (2017). Absorción atómica, métodos e instrumentación. En *Enciclopedia de Espectroscopía y Espectrometría* (pp. 37-43). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803224-4.00099-6>
- Hocaoğlu-özyiğit, A., & Genç, B. N. (2020). El cadmio en las plantas, los seres humanos y el medio ambiente. *Fronteras en Ciencias de la Vida y Tecnologías Relacionadas*, 1(1), 12–21. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1245418>
- Iezzi, S., Lifschitz, A., Landa, R., Quiroga, M. A., & Purslow, P. (2019). Concentración de aluminio en carne cocida almacenada en bandejas de aluminio descartables. En *Act Toxicol. Argent* (Vol. 27, Issue 1). ISSN: 1851-3743
- Khalafalla, F. A., Ali, F. H. M., Hassan, A. R. H. A., y Basta, S. E. (2016). Residuos de plomo, cadmio, mercurio y estaño en productos cárnicos enlatados procedentes de Egipto: se hace hincapié en los límites permisibles y las fuentes de contaminación. *Revista de Protección al Consumidor y Seguridad Alimentaria*, 11(2), 137–143. <https://doi.org/10.1007/s00003-016-1020-x>
- Kibria, G., Hossain, M. M., Mallick, D., Lau, T. C., & Wu, R. (2016). Monitoreo

de la contaminación por metales en las vías fluviales de Bangladesh y las implicaciones ecológicas y de salud pública de la contaminación. *Quimiosfera*, 165, 1-9. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2016.08.121>

Kim, S. U., Kim, T. R., Lee, E. S., Kim, M. S., Kim, C. K., Kim, L. R., & Shin, G. Y. (2015). Migración de formaldehído y metales pesados de embalajes/utensilios metálicos y de caucho en Corea. *Aditivos y contaminantes alimentarios: Vigilancia de la parte B*, 8(1), 7–11. <https://doi.org/10.1080/19393210.2014.943303>

Kiyataka, P. H. M., Dantas, S. T., & Pallone, J. A. L. (2014). Método de evaluación de plomo, cadmio, mercurio y arsénico en envases de polietileno de alta densidad y estudio de la migración a yogur y simulante. *Aditivos y contaminantes alimentarios - Parte A*, 31(1), 156–163. <https://doi.org/10.1080/19440049.2013.855826>

Kiyataka, P. H. M., Dantas, S. T., & Pallone, J. A. L. (2015). Método de análisis y estudio de la migración de plomo, cadmio, mercurio y arsénico desde envases de polipropileno hacia helados y simulantes. *Food analytical methods*, 8, 2331-2338.

Kubier, A., Wilkin, R. T., & Pichler, T. (2019). Cadmio en suelos y aguas subterráneas: una revisión. *Geoquímica Aplicada*, 108, 104388. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104388>

Lee, J. G., Hwang, J. Y., Lee, H. E., Kim, T. H., Choi, J. D., & Gang, G. J. (2019). Efectos de los métodos de procesamiento de alimentos en la migración de metales pesados a los alimentos. *Química Biológica Aplicada*, 62(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-019-0470-0>

Letuka, P., Nkhebenyane, J., & Tywabi-Ngeva, Z. (2023). Contaminación por metales pesados en los alimentos: la perspectiva del comercio informal de alimentos subsahariano. *Riesgos para la salud de los aditivos alimentarios: desarrollos y tendencias recientes en el*

sector alimentario. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.108861>

Llopis, L. S., & Ballester Díez, F. (2002). Revisión de los estudios sobre la exposición al Aluminio y enfermedad de Alzheimer. *Revista Española de Salud Pública*. ISSN: 1135-5727

Logroño Veloz, M. A., Espín Logroño, A. S., García Castillo, J. Y., & Espín Logroño, A. F. (2022). Sustancias nocivas de envases de alimentos y su efecto en la salud de los consumidores. *La ciencia al servicio de la salud y nutrición*, 13(2). <https://doi.org/10.47187/cssn.Vol13.Iss2.199>

Lloor-Bravo, G. A., Pico-Lozano, E. X., Sánchez-Moreira, J. D., & Mendoza-Nieto, K. X. (2020). Evaluación de la presencia de mercurio (Hg) en pez espada, *Xiphias gladius* (Linnaeus, 1758) desembarcado en el puerto de Manta, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 1256–1270. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i3.1367>

López D., L. K., García O., M. M., Madueño V., F. M., Bautista C., N., Marín V., G. M., & Olórtegui C., D. S. (2020). Metales pesados en tres variedades de *Solanum tuberosum* L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima-Perú). *Ciencia e Investigación*, 23(1), 25–30. <https://doi.org/10.15381/ci.v23i1.18719>

Lordan, R., & Zabetakis, I. (2022). Cadmio: Un enfoque en la industria del cangrejo marrón (*Cancer pagurus*) y los riesgos potenciales para la salud humana. *Tóxicos*, 10(10), 591. <https://doi.org/10.3390/toxics10100591>

Lotes de productos en los que se han detectado niveles de contaminación en su composición | Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA). (2024). Recuperado el 24 de julio de 2024, de <https://www.controlsanitario.gob.ec/lotes-de-productos-que-han-presentado-incumplimientos-por-contaminantes-en-su-composicion/>

- Marrero, G. (2019). Metales en alimentos cárnicos procesados. Evaluación del riesgo toxicológico [Máster Universitario en Seguridad y Calidad de los Alimentos]. Universidad de La Laguna.
- Maurya, P. K., Malik, D. S., Yadav, K. K., Kumar, A., Kumar, S., & Kamyab, H. (2019). Bioacumulación y fuentes potenciales de contaminación por metales pesados en especies de peces en la cuenca del río Ganges: evaluación de posibles riesgos para la salud humana. *Toxicology Reports*, 6, 472–481.
- Mello Lazarini, T. E., Milani, R. F., Yamashita, D. M., Saron, E. S., & Morgano, M. A. (2019). Sardinias enlatadas comercializadas en Brasil: Empaque y evaluación de contaminantes inorgánicos. *Envasado de alimentos y vida útil*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100372>
- Monteros J., C., Yumisaca, F., Andrade-Piedra, J., y Reinoso R., I.A. (2010). Cultivares de papas nativas de la Sierra Centro y Norte del Ecuador: Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y de calidad. Quito, Ecuador: INIAP/CIP. (Publicación Miscelánea no. 179).
- Morocho, E. (2023). Determinación de la presencia de metales pesados en camarones expendidos en el mercado de Caraguay al sur de Guayaquil. [Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador] Repositorio Institucional – Universidad Agraria del Ecuador.
- Munir, N., Jahangeer, M., Bouyahya, A., Omari, N. El, Ghchime, R., Balahbib, A., Aboulaghras, S., Mahmood, Z., Akram, M., Shah, S. M. A., Mikolaychik, I. N., Derkho, M., Rebezov, M., Venkidasamy, B., Thiruvengadam, M., & Shariati, M. A. (2021). La contaminación por metales pesados de los alimentos naturales es un grave problema de salud: una revisión. *Sostenibilidad* 2022, Vol. 14, página 161, 14(1), 161. <https://doi.org/10.3390/SU14010161>
- Nag, R., & Cummins, E. (2022). Evaluación de riesgos para la salud humana del plomo (Pb) a través de la vía ambiental-alimentaria.

Ciencia del Medio Ambiente Total, 810. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151168>

Nejatolahi, M., Mortazavi, S., & Ildoromi, A. (2014). Levels of Cu, Zn, Pb, and Cd in the leaves of the tea plant (*Camellia sinensis*) and in the soil of Gilan and Mazandaran farms of Iran. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 8(4), 277–282. <https://doi.org/10.1007/s11694-014-9186-3>

Ochoa, M., Tierra, W., Tupuna-Yerovi, D. S., Guanoluisa, D., Otero, X. L., & Ruales, J. (2020). Evaluación de la contaminación por cadmio y plomo en suelos arroceros y arroz (*Oryza sativa* L.) de la provincia del Guayas en Ecuador. *Contaminación Ambiental*, 260, 114050. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114050>

Organización Mundial de la Salud. (2019). Prevención de enfermedades a través de entornos saludables: exposición al arsénico: un importante problema de salud pública. <https://iris.who.int/handle/10665/329482>

Ormaza, R., Katherine, R., Zambrano, P., & Patricia, Z. (2022). Evaluación de contaminación ambiental por aluminio en sedimentos del río carrizal en descargas de lodos residuales de la planta potabilizadora EMMAP-EP.

Palma, M. (2009). Evaluación del contenido de metales pesados en agua y peces del Lago de Valencia (Tesis de licenciatura, Universidad Central de Venezuela). <http://saber.ucv.ve/bitstream/10872/8922/1/Tesis%20Mar%c3%ada%20Gabriela%20Palma.pdf>

Park, S. J., Choi, J. C., Park, S. R., Choi, H., Kim, M. K., & Kim, J. (2018). Migración de plomo y arsénico del papel en contacto con alimentos a un simulante alimentario y evaluación de su seguridad de exposición al consumidor. *Aditivos y contaminantes alimentarios - Parte A Química, análisis, control, exposición y evaluación de riesgos*,

35(12), 2493–2501. <https://doi.org/10.1080/19440049.2018.1547426>

Pico-Lozano, E., & Cevallos-Rivera, J. (2016). Presencia de mercurio en conservas de atún de la especie (*Katsuwonus pelamis*). *Dominio de la Ciencias*, 2(3), 149-160 IISSN-e 2477-8818.

Poma, P. A. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(2), 120–126. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i2.1367>

Proshad, R., Kormoker, T., Islam, M. S., & Chandra, K. (2020). Riesgo potencial para la salud de los metales pesados a través del consumo de arroz y hortalizas cultivadas en las zonas industriales de Bangladesh. *Evaluación de riesgos humanos y ecológicos: una revista internacional*, 26(4), 921–943. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1546114>

Qin, G., Niu, Z., Yu, J., Li, Z., Ma, J., & Xiang, P. (2021). Contaminación del suelo por metales pesados y seguridad alimentaria en China: efectos, fuentes y tecnología de eliminación. *Quimiosfera*, 267. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2020.129205>

Qin, S., Liu, H., Nie, Z., Rengel, Z., Gao, W., Li, C., & Zhao, P. (2020). Toxicidad del cadmio y su competencia con los nutrientes minerales para la absorción por las plantas: una revisión. *Pedosphera*, 30(2), 168-180. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60002-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60002-9)

Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K.-H. (2019). Metales pesados en cultivos alimentarios: riesgos para la salud, destino, mecanismos y gestión. *Environment International*, 125, 365–385. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.067>

Raptopoulou, K. G., Pasiadis, I. N., Thomaidis, N. S., & Proestos, C. (2014). Estudio de los fenómenos de migración de metales específicos en pasta de tomate en conserva antes y después de la apertura.

Validación de un nuevo indicador de calidad para latas abiertas. *Toxicología Química y de los Alimentos*, 69, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.03.023>

Rodríguez, E., Suñol, C., Campos, F., Caballero, B., Briz, V., Palou, A., Galofré, M., & Sánchez, S. (2010). Altamente tóxico. Efectos neurológicos del mercurio orgánico presente en el medio.

Rodríguez, J. (2018). Evaluación del contenido de minerales tóxicos en zanahoria (*Daucus carota*) y tres variedades de papa (*Solanum tuberosum*) del Valle del Mantaro (pp. 70–74). <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4788/RodriguezVera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Salvatierra Alfago, Virginia Mercedes. (2022). Determinación de Metales Pesados (Cadmio y Plomo) en el Calamar Gigante (*Dosidicus Gigas*) en la Ciudad de Manta, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 11.

Sargazi, M., Roberts, N. B., & Shenkin, A. (2001). Estudios in vitro de la toxicidad inducida por el aluminio en las células tubulares proximales del riñón. *Revista de Bioquímica Inorgánica*, 87(1), 37–43. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0162-0134\(01\)00312-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0162-0134(01)00312-9)

Sarker, A., Kim, J. E., Islam, A. R. M. T., Bilal, M., Rakib, M. R. J., Nandi, R., Rahman, M. M., & Islam, T. (2022). Contaminación por metales pesados y riesgos asociados para la salud en las redes alimentarias: una revisión se centra en la inocuidad de los alimentos y la sostenibilidad ambiental en Bangladesh. *Investigación Internacional en Ciencias Ambientales y Contaminación*, 29(3), 3230. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-17153-7>

Senior, W., Cornejo, M., Tobar, J., & Ramirez, M. (2016). Metales pesados (cadmio, plomo, mercurio) y arsénico en pescados congelados de elevado consumo en el Ecuador. *Zootecnia Trop*, 34(2), 143-154

- Shimbo, S., Zhang, Z.-W., Watanabe, T., Nakatsuka, H., Matsuda-Inoguchi, N., Higashikawa, K., & Ikeda, M. (2001). Contenido de cadmio y plomo en el arroz y otros productos de cereales en el Japón en 1998-2000. En *La Ciencia del Medio Ambiente Total* (Vol. 281).
- Singh, S., Yadav, R., Sharma, S., & Singh, A. N. (2023). Contaminación por arsénico en la cadena alimentaria: una amenaza para la seguridad alimentaria y la salud humana. *Revista de Biología Aplicada y Biotecnología*, 11(4), 24–33. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.69922>
- Suhani, I., Sahab, S., Srivastava, V., & Singh, R. P. (2021). Impacto de la contaminación por cadmio en la inocuidad de los alimentos y la salud humana. *Opinión Actual en Toxicología*, 27, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cotox.2021.04.004>
- Taylor, R. M., & Kuennen, R. W. (2005). Eliminación de plomo en agua potable con carbón activado. <https://doi.org/10.1002/ep.670130124>
- Tolkou, A. K., Toubanaki, D. K., & Kyzas, G. Z. (2023). Detección de arsénico, cromo, cadmio, plomo y mercurio en peces: efectos sobre el desarrollo sostenible y saludable de la vida acuática y los consumidores humanos. *Sostenibilidad*, 15(23), 16242. <https://doi.org/10.3390/su152316242>
- Uribe-Hernández, R., Pérez-Zapata, A. J., & Vega-Barrita, M. L. (1999). Estudio in vitro del efecto del plomo en la biosíntesis de porfirinas. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas*, 44(1–4), 127–139. <https://biblat.unam.mx/hevila/Analesde laEscuelaNacionaldeCienciasBiologicas/1999/vol44/no1-4/12.pdf>
- U.S. Food and Drug Administration. (2023). Investigación sobre los niveles elevados de plomo y cromo en las bolsas de puré de manzana y canela. <https://www.fda.gov/food/outbreaks-foodborne-illness/>

investigacion-sobre-los-niveles-elevados-de-plomo-y-cromo-en-
las-bolsas-de-pure-de-manzana-y-canela

- Vargas Licona, S. P., & Marrugo Negrete, J. L. (2019). Mercurio, metilmercurio y otros metales pesados en peces de Colombia: riesgo por ingesta. *Acta Biológica Colombiana*, 24(2), 232–242. <https://doi.org/10.15446/abc.v24n2.74128>
- Vázquez, J., Sangurima, C., & Álvarez-Vera, M. (2019). Concentraciones de plomo (Pb) en cultivos de lechuga (*Lactuca sativa*) en Azuay, Ecuador. *Ciencia Agropecuaria*, 10(3), 423–427. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.13Vistazo>. (2024).
- Wani, A. L., Ara, A., & Usmani, J. A. (2015). Toxicidad del plomo: una revisión. En *Toxicología Interdisciplinaria* (Vol. 8, Número 2, pp. 55-64). Sociedad Eslovaca de Toxicología. <https://doi.org/10.1515/intox-2015-0009>
- Wilschefski, S., & Baxter, M. (2019). Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente: Introducción a los aspectos analíticos. *Reseñas de Bioquímicos Clínicos*, 40(3), 115–133. <https://doi.org/10.33176/aacb-19-00024>
- Yao, S., Yang, D., Zhang, X., Shi, L., & Zhang, X. (2022). Migración y Transformación de Arsénico en Arroz y Suelo Bajo Diferentes Fuentes de Nitrógeno en Zonas Mineras de Sulfuros Polimetálicos. *Vida*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/life12101541>
- Yazdanparast, T., Strezov, V., Wieland, P., Lai, Y. J., Jacob, D. E., & Taylor, M. P. (2022). Envenenamiento por plomo de pollos de traspatio: implicaciones para la jardinería urbana y la producción de alimentos. *Contaminación Ambiental*, 310, 119798. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2022.119798>
- Zegarra Valdivieso, B. D. (2020). Elementos esenciales y metales

tóxicos en comida rápida o “Fast Food”: Evaluación nutricional y toxicológica (Trabajo de fin de grado, Universidad de La Laguna). <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/20016>

Zhang, H., & Reynolds, M. (2019). Exposición al cadmio en organismos vivos: una breve revisión. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 678, 761–767. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.395>

Zomeño Gurrea, V., & Almela Camañas, C. (2021). Efectos neurotóxicos de los compuestos de aluminio en mamíferos (Trabajo de fin de grado, Universidad Católica de Valencia). <https://riucv.ucv.es/handle/20.500.12466/1778>