

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

Contaminación con Plomo (Pb) y Cadmio (Cd)

en la producción láctea. Un Análisis en Esmeraldas, Ecuador.

Milena Alejandra Simbaña Aguirre

Medicina Veterinaria

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito

para la obtención del título de Médico Veterinario

Quito, 02 de diciembre de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias de la Salud

HOJA DE CALIFICACIÓN

DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Contaminación con Plomo (Pb) y Cadmio (Cd)

en la producción láctea. Un Análisis en Esmeraldas, Ecuador.

Milena Alejandra Simbaña Aguirre

Nombre del profesor, Título académico

Lenin Vinueza DMVZ, M. Sc, PhD

Quito, 02 de diciembre de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Milena Alejandra Simbaña Aguirre

Código: 00215008

Cédula de identidad: 17239020074

Lugar y fecha: Quito, 02 de diciembre de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

DEDICATORIA

A mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y constante motivación han sido la base de este logro. A mi abuela Teresa, por su infinita sabiduría, paciencia y las valiosas enseñanzas que me han guiado en cada paso del camino. Y a mis tres adorados gatos: Chiwi Alberto, Chily Wily y Chipoteo, quienes con su compañía y ternura llenaron mis días de alegría, siendo una fuente constante de inspiración durante esta etapa.

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor de tesis, Lenin Vinueza, por su paciencia, gran conocimiento y constante orientación académica. Su colaboración y dedicación fueron fundamentales para la realización de este trabajo, y estoy profundamente agradecida por su apoyo.

A Juan Sebastián Galecio y Ana Belén Guzmán, por guiarme con generosidad y brindarme valiosos consejos que enriquecieron el desarrollo de esta investigación. Su aporte fue clave para alcanzar este logro.

A mis amigas y amigos de la carrera, quienes siempre creyeron en mí y me apoyaron incondicionalmente. Gracias por ser un pilar esencial en mi vida y por acompañarme en este camino con su amistad y motivación.

Finalmente, quiero agradecer a cada uno de mis profesores y futuros colegas, por compartir conmigo su conocimiento, consejos y aprendizajes, pero sobre todo, por los buenos momentos que llevaré conmigo como recuerdos valiosos a lo largo de mi vida.

RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática de la contaminación por metales pesados, específicamente plomo (Pb) y cadmio (Cd), en leche bovina producida en la parroquia Malimpia, provincia de Esmeraldas, Ecuador. Los metales pesados representan una amenaza significativa para la salud pública y animal debido a su naturaleza no biodegradable y su capacidad de bioacumulación en organismos vivos.

La importancia de este estudio radica en que la exposición a estos elementos está asociada con efectos adversos severos tanto en humanos como en animales. En el ganado bovino, el plomo puede causar trastornos neurológicos, digestivos y alteraciones del comportamiento, mientras que el cadmio se relaciona con daños pulmonares, hepáticos, disfunción renal y alteraciones reproductivas.

La zona de estudio se caracteriza por la presencia de actividades mineras legales e ilegales, principalmente de extracción de oro, que podrían contribuir a la contaminación ambiental por metales pesados. Aunque el Codex Alimentarius establece límites permisibles de 0.02 ppm para plomo en leche, no existe un límite establecido para cadmio.

La investigación se realizó mediante la recolección de muestras de leche en diez haciendas ganaderas ubicadas en áreas de influencia del Río Malimpia, con el objetivo de determinar la presencia y niveles de estos contaminantes. Este estudio contribuye a la comprensión del impacto de las actividades antropogénicas en la calidad de la leche y sus potenciales efectos en la salud pública y animal.

Palabras clave: metales pesados, leche bovina, plomo, cadmio, contaminación ambiental, salud animal.

ABSTRACT

This research addresses the issue of heavy metal contamination, specifically lead (Pb) and cadmium (Cd), in bovine milk produced in the Malimpia parish, Esmeraldas province, Ecuador. Heavy metals represent a significant threat to public and animal health due to their non-biodegradable nature and their capacity for bioaccumulation in living organisms.

The significance of this study lies in the fact that exposure to these elements is associated with severe adverse effects in both humans and animals. In cattle, lead can cause neurological and digestive disorders and behavioral alterations, while cadmium is linked to lung damage, liver damage, kidney dysfunction, and reproductive alterations.

The study area is characterized by the presence of legal and illegal mining activities, primarily gold extraction, which could contribute to environmental contamination by heavy metals. While the Codex Alimentarius establishes permissible limits of 0.02 ppm for lead in milk, there is no established limit for cadmium.

The research was conducted by collecting milk samples from ten cattle farms located in areas influenced by the Malimpia River, with the objective of determining the presence and levels of these contaminants. This study contributes to the understanding of the impact of anthropogenic activities on milk quality and its potential effects on public and animal health.

Keywords: heavy metals, bovine milk, lead, cadmium, environmental contamination, animal health

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	14
METODOLOGÍA.....	15
RESULTADOS.....	19
DISCUSIÓN.....	24
CONCLUSIÓN.....	29
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
ANEXOS	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Tabla 1: Características y datos de las 10 fincas muestreadas.....	20
Figura 1: Concentraciones en ppb de Pb y Cd medidas en las muestras mediante el método ASV con sus intervalos de confianza al 95%.	21
Figura 2: Mapa de la concesión minera de la provincia de Esmeraldas.....	22
Figura 3: Mapa de la relación de proximidad de zonas de actividad minera ilegal y sitio de los hallazgos.	23
Tabla 2: Resultado de la concentración de plomo en las muestras de leche.	23
Anexo 1: Mapa de distribución de minería en diferentes sectores en Latino América.....	35
Anexo 2: Tabla que representa los valores reportados del ajuste de la técnica (ASV TFME).	35

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados constituyen una amenaza tanto para el ambiente como para la salud pública debido a sus efectos contaminantes. Mientras los metales pesados existen naturalmente en bajas concentraciones en los suelos, las actividades antropogénicas han intensificado significativamente los niveles de concentración de contaminantes. Las actividades humanas en diversos sectores como la industria, agricultura, ganadería y minería, la producción petrolera junto con el uso excesivo de fertilizantes químicos, han incrementado la presencia de elementos contaminantes, incluyendo arsénico, mercurio, plomo, cobre, zinc, cadmio, cromo y níquel. (Garzón-Villalba, 2024).

La liberación de estos elementos al ambiente proviene tanto de fuentes naturales como antropogénicas, presentando una particularidad crítica: A diferencia de los contaminantes orgánicos, los metales pesados no son biodegradables y tienden a acumularse en los organismos vivos (Yadav & Sharma, 2019).

Estos elementos contaminantes se desplazan a través de ecosistemas, invadiendo ríos, vegetación, animales y alimentos. Lo que produce desequilibrio en el ecosistema amenazando directamente a la salud de los organismos y las comunidades tanto de humanos como de animales. (Londoño-Franco et al., 2016).

La exposición a metales pesados constituye un problema de salud pública de dimensiones globales, con el plomo y el cadmio como ejemplos paradigmáticos de su impacto nocivo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición crónica al plomo se estima responsable de 143,000 muertes anuales, siendo considerado el metal más peligroso por sus efectos devastadores en el crecimiento y desarrollo infantil (OMS, 2013; Azcona-Cruz et al., 2014).

PLOMO

El plomo se encuentra en muchos minerales y es un subproducto de la extracción de otros metales como son la plata y el zinc, también puede introducirse en el medio ambiente a través de otras vías, como el uso de equipos que contienen plomo, fertilizantes químicos y pesticidas, o agua contaminada con plomo. La concentración permisible de plomo en leche según el Codex Alimentarius es de 0.02 partes por millón (ppm) o 20 partes por billón (ppb). (De la Cueva, et al 2021)

Entre los efectos para la salud humana los efectos tóxicos del plomo pueden causar alteraciones renales, hepáticas, problemas neurológicos, hipertensión arterial, enfermedades cardiovasculares, infertilidad y riesgo de cáncer. (Reyes, et. al 2016). El envenenamiento por este elemento tiene efecto en el sistema nervioso, hematopoyético, urinario, gastrointestinal, renal, reproductivo y endócrino. La contaminación aguda con plomo dentro del cuerpo provoca efectos adversos, como cansancio, dolor de cabeza y pérdida de la memoria. (Danza, F., et al, sf)

Los signos clínicos que se manifiestan por exposición prolongada de plomo en animales son trastornos neurológicos, digestivos tales como depresión, pérdida de apetito, diarrea o estreñimiento, temblores musculares, excitación, ceguera o convulsiones. Una intoxicación grave por plomo puede provocar que el ganado rechine los dientes cabeza o mueva los ojos o las orejas. Algunos animales pueden dar vueltas, presionar la cabeza o el cuerpo contra objetos o descoordinarse y tambalearse. (Government of Alberta. 2002).

CADMIO

El cadmio, es un elemento natural presente en la corteza terrestre, se encuentra típicamente en minerales combinados con oxígeno, cloro o azufre, y está presente en suelos, rocas, carbón y abonos minerales (MINAM, 2024). Su versatilidad industrial lo hace común en baterías, pigmentos y revestimientos metálicos, mientras que, en la población general, la alimentación y el consumo de cigarrillos representan las principales vías de exposición crónica. No existe un límite establecido por el Codex Alimentarius para el cadmio en la leche.

En humanos la exposición al cadmio en el organismo de manera crónica está relacionada con efectos neurotóxicos, cancerígenos y genotóxicos y teratogénicos, así como con la aparición de osteoporosis y osteomalacia, debido a la similitud de este elemento al calcio, daños en el sistema endocrino y en las funciones reproductivas. (Drapal J, et al 2021)

La intoxicación con grandes cantidades de plomo puede causar vómito, diarrea en caso de ingesta y en caso de inhalación daños en los pulmones o incluso hasta la muerte. (Mayo Clinic. 2022).

Los efectos tóxicos del cadmio en animales incluyen daño pulmonar, hipertensión, daño hepático y disfunción renal (Tahir I and Alkheraije KA 2023) así como abortos, partos prematuros o alteraciones en el sistema reproductor del ganado. (Wrzecińska et al., 2021)

Investigaciones han detectado Cd y Pb en sangre, leche y orina bovina, evidenciando variabilidad en sus concentraciones y tasas de transferencia (Castro-González et al., 2021).

ACTIVIDADES MINERAS

En el Ecuador la minería es una actividad económica que comprende el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan en la superficie terrestre con fines comerciales. (Banco Central del Ecuador. s.f.).

La realización de actividades mineras es beneficiosa desde una perspectiva económica, pero, cuando un Estado únicamente se enfoca únicamente en la producción, los derechos de la naturaleza y la protección ambiental pone en riesgo al ecosistema. (Vilela-Pincay, et al. 2020)

Las zonas de actividad minera legal e ilegal en el sector están declaradas de explotación de oro (Ministerio de Energía y Minas) Aunque no se puede demostrar la influencia directa de la actividad minera ilegal, la proximidad sugiere que podría haber una influencia en la aparición de plomo en la leche. La minería de oro produce como residuos altos niveles de metales pesados, incluido el plomo, que se liberan al medio ambiente, afectando los ecosistemas y la salud humana. (Ministerio de Energía y Minas)

La presente investigación se realizó en la parroquia de Malimpia, en la provincia de Esmeraldas, específicamente en áreas de influencia del Río Malimpia. Se recolectaron muestras de leche de vaca de 10 haciendas ganaderas para analizar la posible presencia de Pb y Cd por contaminantes alrededor de la zona.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Identificar la posible presencia de plomo y cadmio en leche proveniente de muestras de 10 fincas de la parroquia Malimpia en Esmeraldas, Ecuador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir las características de las haciendas muestreadas.
- Representar a través de mapas, la ubicación geográfica de las fincas muestreadas en relación a la presencia de minería en la provincia de Esmeraldas.
- Relacionar los resultados de del estudio de Voltametría Anódica de Redisolución con film de mercurio delgado la presencia de plomo y cadmio, en muestras de las 10 fincas analizadas
- Aplicar la metodología de bootstraping para establecer un intervalo de confianza para los posibles valores de concentración de los metales en la zona (plomo y cadmio).

MÉTODOLOGÍA

Descripción de la zona de estudio

Quinindé, ubicado en la provincia de Esmeraldas, se caracteriza por un clima tropical húmedo, con temperaturas promedio que oscilan alrededor de los 26°C, enmarcado en un paisaje dominado por selvas húmedas y ecosistemas de bosque tropical que albergan una biodiversidad significativa. El río Esmeraldas y sus afluentes atraviesan el territorio, proporcionando recursos hídricos esenciales que impulsan la agricultura y la pesca local, constituyéndose como un elemento clave para el desarrollo económico de la región. El sector económico de Quinindé se fundamenta primordialmente en la agricultura como eje central, con cultivos como cacao y café, pero es la producción de palma africana el principal impulsor del desarrollo económico local. Complementariamente, la ganadería bovina configura otro componente relevante de su estructura productiva. La presencia de actividades mineras, aunque no constituye el motor económico principal, añade un elemento adicional a la complejidad productiva de la región, configurando un mosaico económico multisectorial. (Reyes, P. 2021).

La parroquia Malimpia, ubicada en la zona sur del cantón Quinindé, es un sector dedicado a la producción agropecuaria, con énfasis en plantaciones permanentes como palma africana y cacao, destinadas tanto al comercio local como regional, sin embargo, las actividades agrícolas se combinan con la producción ganadera, principalmente de ganado bovino de carne y leche.

Selección de las fincas para el estudio

Las fincas seleccionadas para el estudio fueron aquellas que, en el momento de la investigación, contaban con vacas en producción. El número de animales por finca osciló entre 15 y 45 cabezas.

Tamaño de la muestra y toma de muestras de leche

Para determinar el tamaño de la muestra, se tomó como referencia una población total de 135 fincas ubicadas en el área de influencia del río Malimpia, en la provincia de Esmeraldas. Se asumió una prevalencia mínima esperada del 25% de contaminación por metales pesados, con un nivel de confianza del 95%, lo que resultó en un número de muestras de 7.41%, por lo cual se seleccionaron 10 fincas. En cada finca, se recolectó una muestra de 100 ml de leche, directamente del tanque de colección tras el ordeño, garantizando condiciones higiénicas durante la toma y el transporte de las muestras.

La información de las encuestas se recuperó de un estudio previo sobre brucelosis en la zona.

Elaboración de mapas

Para poder establecer la posible relación de la parroquia de Malimpia con las áreas mineras cercanas, se descargó varios mapas de la minería, en el Ecuador y la provincia, desde la página del Ministerio de Energía y Minas.

Usando estos mapas como referencia se construyó un mapa que junta los dos elementos.

Para la elaboración de los mapas de la zona de estudio, se utilizó el software QGIS con datos obtenidos del catálogo del Instituto Geográfico Militar (IGM). Se empleó un archivo en formato Shapefile a escala nacional (1:1 000 000), el cual fue procesado siguiendo los siguientes pasos:

1. Importación de datos:
 - Capa > Añadir capa > Añadir capa vectorial.
2. Creación de la composición cartográfica:
 - Incorporación de elementos esenciales como la escala gráfica, leyenda y título.
3. Exportación del mapa:
 - Archivo > Exportar como: Mapas de Malimpia.

Análisis estadístico mediante Bootstrapping

El análisis fue realizado en R Studio utilizando la función `boot` con 1000 repeticiones, siguiendo el siguiente script:

```
install.packages("boot")  
  
library(boot)  
  
media_func <- function(data, indices) {  
  return(mean(data[indices]))  
}  
  
resultados <- boot(data = pb, statistic = media_func, R = 1000)  
  
print(resultados)  
  
boot.ci(resultados, type = "basic")
```

Donde: `pb`= Valores de plomo encontrados en las 10 fincas

- Donde: `pb` corresponde a los valores de plomo detectados en las 10 fincas.

Este método permitió calcular intervalos de confianza robustos para los niveles de plomo encontrados, mitigando las limitaciones del tamaño muestral.

Análisis de las muestras recolectadas

Las muestras recolectadas fueron transportadas al laboratorio de Ingeniería Química de la USFQ, donde se analizaron mediante el método de Voltametría Anódica de Redisolución con Film de Mercurio Delgado (ASV-TFME).

En un estudio previo sobre métodos de detección de metales pesados (Santos Estrada, J. F., & Tutiven Puente, F. X. 2022. *Método para análisis de Pb y Cd por medio de voltametría anódica de redisolución en leche*) se analizó una parte de las muestras, lo que permitió la afinación del método. Esta metodología fue seleccionada por su alta sensibilidad y precisión con límites de detección tan bajos como 0,1 µg/L para cadmio, plomo y cobre.

Los valores referenciales de cadmio y plomo se tomaron de los resultados obtenidos de las Fincas investigadas.

- Para relacionar los resultados con las encuestas se codificó las fincas de la siguiente forma M11 al M110 Se identificaron las fincas con concentraciones más elevadas de plomo y cadmio.
- Se destacaron las fincas con contaminación simultánea por ambos metales (Pb y Cd).

Finalmente, los resultados obtenidos fueron comparados con los límites máximos permisibles establecidos por normativas internacionales, lo que permitió determinar el grado de contaminación en la zona de estudio.

RESULTADOS

Características de las haciendas muestreadas

En las 10 fincas muestreadas, se identificó un sistema de producción mixto, en el que se combina la ganadería con actividades agrícolas. Los cultivos predominantes incluyeron banano (100%), cacao (60%), cítricos (50%) y café (40%).

En cuanto a asistencia técnica, tres fincas recibían apoyo del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). Respecto a infraestructura, solo una finca contaba con una manga instalada y dos fincas disponían de una zona específica destinada al ordeño.

Las características de servicios básicos fueron limitadas:

- El tamaño promedio de las fincas fue de 31.2 hectáreas.
- Cuatro fincas tenían acceso a energía eléctrica
- Ninguna finca contaba con agua potable.

En cuanto al ganado, la raza lechera predominante fue Brown Swiss, mientras que las razas de ganado de carne observadas incluían Boran y Cebú. Cada finca albergaba, en promedio, 8.4 vacas, con una producción diaria de leche promedio de 28 litros diarios.

Tabla 1: *Características y datos de las 10 fincas muestreadas.*

Características	Datos
Número de fincas	10
Cultivos presentes	Banano: 100%, Cacao: 60%, Cítricos: 50%, Café: 40%

Asistencia técnica	30% (principalmente del MAGAP)
Nivel tecnológico	
Fincas con manga instalada	1
Fincas con zona para ordeño	2
Promedio de extensión de las fincas	31.2 Ha (IC: 15 ; 68 Ha)
Electricidad	40%
Agua entubada o potable	0% (100% carece)
Tipo de ganado predominante	Brown Swiss
Especies de carne	Boran, Cebú
Promedio de vacas por finca	8.4 cabezas
Producción diaria promedio/finca	28 litros

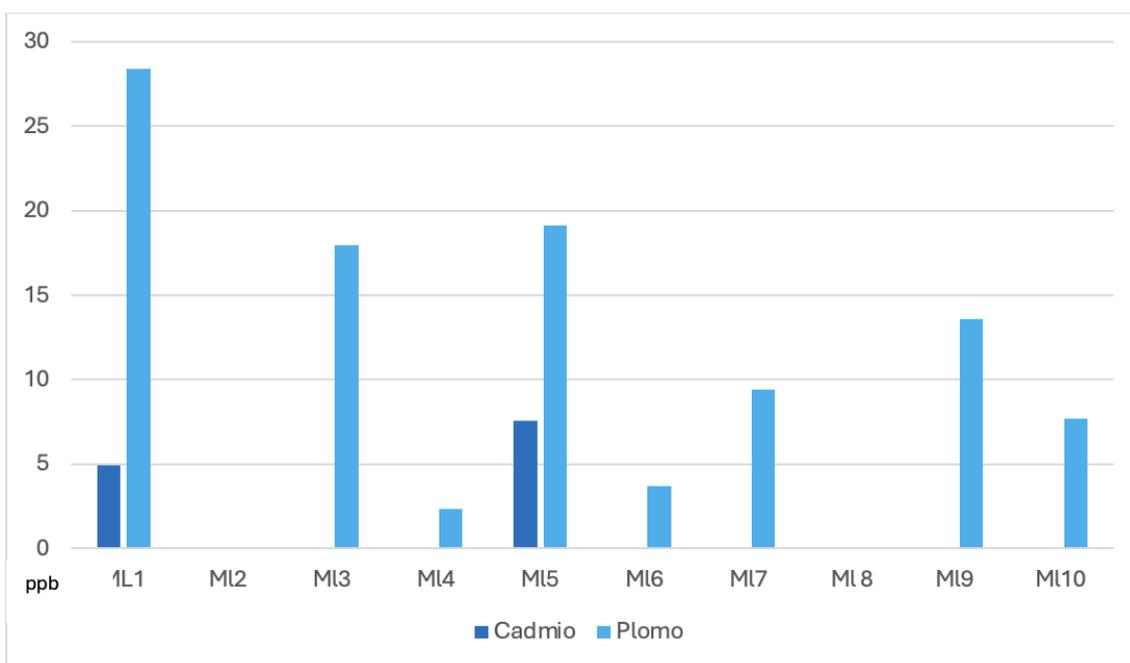


Figura 1: Concentraciones en ppb de Pb y Cd medidas en las muestras mediante el método ASV con sus intervalos de confianza al 95%.

Los resultados obtenidos en el estudio previo revelaron la presencia de plomo en 8 de las 10 muestras recolectadas. Igualmente, presencia de cadmio en 2 de las muestras. Y la presencia de ambos metales en 2 de las muestras. De las fincas investigadas, tres resultaron con valores elevados de plomo: MI1, MI3 y MI5, de las cuales MI1 presentó el nivel más elevado mientras que MI3 el más bajo. Todas las fincas se dedicaban a labores agrícolas y tenían cultivos de banano. Además, la finca MI3 también poseía cultivos cacao; MI1 cultivaba café y cítricos, y MI5 cultivaba varios tipos de cítricos. MI1 recibía asistencia técnica del MAGAP y tenía manga de manejo, además recibía atención veterinaria, mientras que MI5 era la única que contaba con una zona de ordeño. En cuanto a su extensión, las tres fincas tienen un promedio de 5 hectáreas de pastos y disponen de electricidad. Sin embargo, ninguna tenía acceso a agua potable por lo que se concluye que se abastecían de la acequia.

Mapas de proximidad de las fincas a zonas mineras usando el software QGIS.

Los siguientes mapas presentan la ubicación de las fincas donde se recolectaron las muestras de leche para el análisis de concentración de plomo y cadmio. Además, se destacan las zonas de actividad minera cercanas. La zona de muestreo se encuentra aproximadamente a 25 km en línea recta de las áreas de actividad minera.



Figura 2: *Mapa de la concesión minera de la provincia de Esmeraldas. (Ministerio de Energía y Minas)*

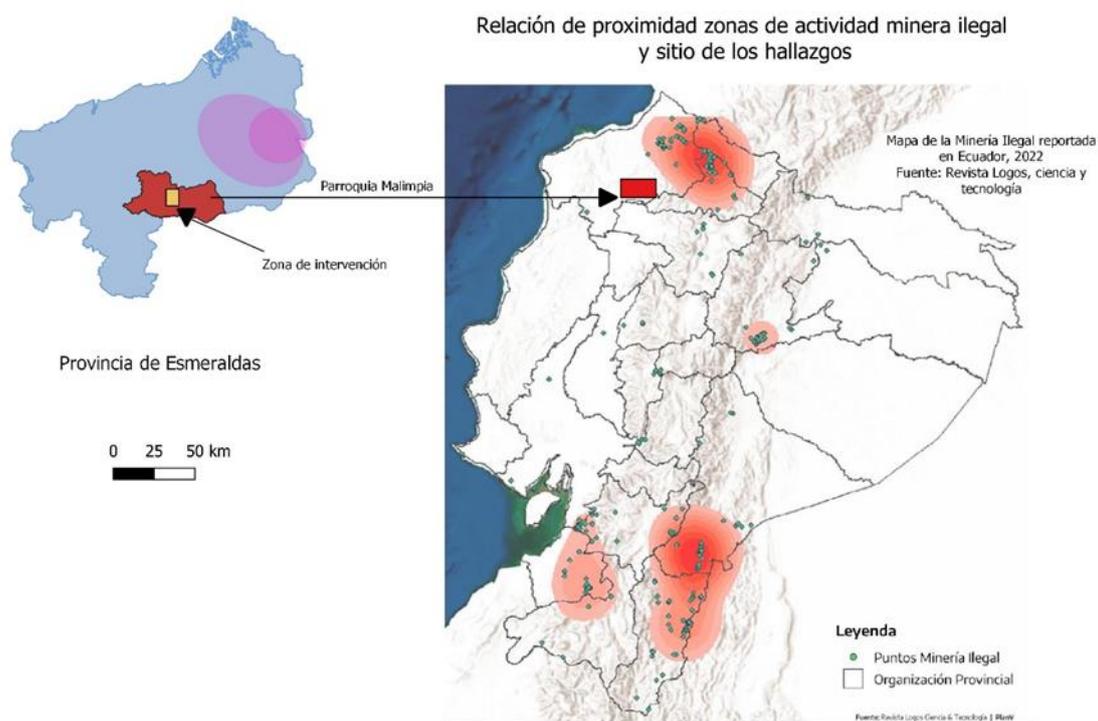


Figura 3. Mapa de la relación de proximidad de zonas de actividad minera ilegal y sitio de los hallazgos. (Revista Logos Ciencia y Tecnología, 2022)

Análisis bootstrapping

En cuanto al análisis del bootstrapping, los resultados en la tabla 2 revelan un intervalo de confianza para la concentración de plomo que oscila entre 7.06 y 18.06 ppb. Mediante la técnica de bootstrapping, se estima con un 95% de certeza que el valor real de plomo en la muestra se encuentra dentro de este rango específico.

BOOTSTRAPPING	
Nivel	Percentil
95%	(7.06, 18.06)

Tabla 2: Resultado de la concentración de plomo en las muestras de leche.

DISCUSIÓN

Las 10 fincas en el estudio presentaron características de producción agrícola y ganadera, con diversos tipos de combinaciones. Existen varios reportes sobre el impacto de la aplicación de agroquímicos se determinó la presencia de Pb y Cd en múltiples pesticidas comúnmente utilizados en la agricultura. En los cuales se han analizado pesticidas químicos entre ellos insecticidas de los grupos organofosforado, avermectina, pirrol, piretroide y carbamato, fungicidas del grupo ditiocarbamato, triazol e imidazol; y herbicidas a base de glicina. Los ingredientes de los pesticidas incluyen compuestos químicos contaminantes. Se ha atribuido que dichos componentes pueden contener metales pesados potencialmente dañinos para el ecosistema agrícola. (Dewi, T., et al. 2022).

Sin embargo, en ninguna se presentó cultivos extensivos de ningún producto en particular que requiera un uso intensivo de agroquímicos con contenido de plomo, lo que sugiere que la fuente de contaminación podría no estar ligada a la agricultura. Por otro lado, la finca que presentó los índices más altos de plomo y cadmio recibía asistencia técnica del MAGAP, lo que refuerza la idea de un uso controlado de agroquímicos.

Con respecto a la actividad agrícola de cada hacienda muestreada se llegó a la conclusión de que hay una probabilidad que los cultivos de cacao y café sean la fuente de contaminación ya que en un estudio realizado en metales pesados producción de cacao se establece que el árbol de cacao es conocido por absorber y acumular metales pesados en las diferentes partes de la planta, entre estas la almendra y las hojas. (López-Ulloa, et al 2021).

Este estudio reveló una importante distribución de metales pesados en las muestras de leche bovina de Quinindé, Esmeraldas, con patrones de contaminación que exceden los

límites de plomo (20ppb) establecidos por el Codex Alimentarius (OMS, 2010) y los límites de Cd establecidos para la leche por la misma investigación con referencia a la concentración de Cd en el agua mineral (6ppb). (Santos Estrada, J. F., & Tutiven Puente, F. X. 2022).

La prevalencia de plomo mostró un espectro epidemiológico alarmante, con el 80% de las muestras positivas y dos casos que superaron considerablemente el umbral de 20 ppb. La dispersión de este metal sugiere una potencial contaminación ambiental sistémica, posiblemente vinculada a actividades antropogénicas como la minería, legítima o ilegal, carreteras, agricultura intensiva y el uso de pesticidas y agroquímicos en la zona.

Investigaciones previas corroboran esta problemática: En un estudio en Machachi, Ecuador se evidenció plomo sobre el límite permisible en el 98.28% de las muestras. (De la Cueva, et al 2021). Otro estudio en la ciudad de Guayaquil encontró altos niveles de contaminación por Pb en la leche en polvo (5.450 ± 2.474 mg/kg), aunque en leches pasteurizadas y ultrapasteurizadas no se detectó contaminación por Pb. (Pernía et al., 2015).

Respecto al cadmio, el 20% de las unidades productivas presentaron concentraciones cercanas a 5 ppb, nivel que implica un riesgo significativo debido a su capacidad de bioacumulación.

Las actividades mineras plantean importantes riesgos ambientales y pueden tener impacto significativo en la ganadería. Los estudios han demostrado que pueden alterar los patrones de uso del suelo y afectar las prácticas de producción ganadera y generar una gran contaminación de las aguas superficiales y subterráneas por metales pesados como Cd, Pb y U en áreas mineras, excediendo los límites reglamentarios (Santana et al., 2020). Aunque no se puede demostrar la influencia directa de la actividad minera ilegal, la

proximidad sugiere que podría haber una influencia en la aparición de plomo en la leche debido a que partículas de metales pesados pueden viajar grandes distancias en el viento o en corrientes de agua. Por otro lado, existe la posibilidad de que en la zona se esté realizando minería que no haya sido reportada pues las actividades ilegales no suelen ser visibles, hasta el momento de las intervenciones estatales. (Fashola, M. O 2016).

Los mapas Figura 1 y Figura 2 sugieren que existe minería ilegal la cual no ha sido registrada por el Ministerio de Energía y Minas ya que no aparece en los mapas elaborados. Dando expectativas de que existen mineras más cerca de lo estudiado dando como consecuencia la contaminación por metales pesados. Se presentan zonas de conservación que están siendo afectadas por la actividad minera considerando que tienen relación son áreas que tienen producción agrícola como se indica en el Anexo 1.

Sobre el método de Bootstrapping, el rango obtenido proporciona una evaluación sofisticada que permite comprender la variabilidad de la medición de plomo. Mediante un muestreo repetitivo el cual reduce el margen de error aumentando la precisión y confianza en la interpretación científica de la concentración de plomo en la muestra. El bootstrapping nos puede dar una idea la cual podría el nivel de contaminación en la zona, sin embargo, estos resultados deben tomarse únicamente como referencia pues los valores obtenidos en el método de identificación de los metales pesados tenían un coeficiente de variación demasiado alto.

Este estudio, fue un gran trabajo piloto, aunque enfrentó importantes limitaciones debido a la interrupción de la pandemia del COVID-19, lo que impidió la continuación del análisis y la ampliación de los objetivos planteados inicialmente. Uno de los aspectos que podría haberse investigado más a fondo es la contaminación del agua dado que la mayoría de los animales dependen de fuentes naturales de agua como ríos y arroyos, lo que aumenta el riesgo de intoxicación tanto en los animales como en las personas que

consumen productos de origen animal. Otro aspecto en el cual se puede realizar una investigación en el futuro es realizando pruebas de sangre en animales y personas dado que no se sabe con certeza las fuentes de contaminación y es muy probable que exista presencia de metales pesados en su organismo. Los niveles elevados de plomo en los niños ocasionan problemas de déficit de aprendizaje por lo que se recomienda realizar un estudio sobre la población de niños en ese sector y en el caso de que existan niños con problemas de aprendizaje tomar muestras de sangre para corroborar la presencia de metales pesados en su organismo, mientras que en los adultos la presencia elevada de estos metales influye en el comportamiento, volviendo a los individuos afectados violentos (Garzón-Villalba X, 2024). dando a lugar otra de las limitaciones en la investigación ya que se considera que esta zona es de conflicto y difícil de acceso.

Asimismo, hubiera sido relevante realizar un análisis del tipo de suelo y su pH, ya que estos factores influyen directamente en la absorción de contaminantes por parte de las plantas. El pH del suelo puede alterar la solubilidad y biodisponibilidad de metales pesados como el plomo y el cadmio, lo que podría afectar la calidad de los cultivos y, en consecuencia, la salud de los animales que consumen estos productos contaminados.

Los hallazgos trascienden lo local, configurando un patrón de contaminación que compromete la inocuidad alimentaria y la salud pública, la exposición a estos metales puede causar daños neurológicos y renales en consumidores y afectando al desarrollo neurológico de los niños, mientras que en el ganado puede provocar problemas reproductivos y reducción en la producción láctea. Estos hallazgos evidencian la necesidad urgente de implementar medidas más estrictas de monitoreo y control en la producción lechera de la región. Las consecuencias de la contaminación ambiental se manifiestan no solo en indicadores generales de salud, sino también en condiciones específicas como la desnutrición y la anemia, estrechamente vinculadas a factores

ambientales (Garzón-Villalba, 2024). La presencia de metales pesados en leche de vaca, debería considerarse como un referente de contaminación ambiental y no como la fuente de contaminación para los humanos. Se requieren estudios que permitan establecer si las fuentes de agua, podrían ser una posible fuente de contaminación para las personas y las especies animales que habitan en la zona. Se recomienda realizar un análisis de metales pesados en animales silvestres y peces de agua dulce, lo que nos podría indicar la salud del ecosistema.

CONCLUSIÓN

Los niveles elevados de plomo en algunas muestras superan el límite establecido por el Codex Alimentarius sugiriendo una contaminación y la presencia de cadmio es alarmante en la mínima concentración. Sin embargo, se necesitan más estudios para poder establecer la fuente de la contaminación. La presencia de metales pesados en leche de vaca, debería considerarse como un referente de contaminación ambiental. Aunque este estudio ha proporcionado una base importante para comprender la contaminación por plomo y cadmio en la leche, existen múltiples áreas que requieren una mayor investigación. Se recomienda que futuros estudios amplíen el análisis hacia otras posibles fuentes de contaminación, como el agua y el suelo, y que se realicen evaluaciones en la salud humana, especialmente en comunidades expuestas a estos contaminantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arán, D., Verde, J.R., Antelo, J., & Macías, F. (2020). Calidad ambiental de suelos y aguas de la Mina Fé: situación inicial y alternativas de recuperación. *Spanish Journal of Soil Science*, 10, 81-100.

Azcona-Cruz, M. I., Ramírez y Ayala, R., & Vicente-Flores, G. (2015). Efectos tóxicos del plomo. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 20(1), 72-77.

Bianchini, F., Pascali, G., Campo, A.M., Orecchio, S., Bonsignore, R.M., Blandino, P., & Pietrini, P. (2015). Elemental contamination of an open-pit mining area in the Peruvian Andes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12, 1065-1074.

Cebada, J.D., & Guimarães, P.E. (2017). Aguas da morte: la contaminación de las aguas en las cuencas mineras de la península ibérica. *Revista De Historia Industrial*, 26, 81-108.

Danza, F., Danatro, D., Gomez, F., Laborde, A., Lopez, B., Perona, D., Spontón, F., Tomasina, F., & Velazquez, V. (s.f.). *Contaminación por plomo. Sindicato Médico del Uruguay, Comisión de Salud Ocupacional*.

De la Cueva, F., Naranjo, A., Puga Torres, B., & Aragón, E. (2021). Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Central del Ecuador.

Dewi, T., Martono, E., Hanudin, E., & Harini, R. (2022). Impact of agrochemicals application on lead and cadmium concentrations in shallot fields and their remediation with biochar, compost, and botanical pesticides. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1109(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1109/1/012050>

Drapal J, Steinhauser L, Stastny K, Faldyna M (2021): Cadmium concentration in cattle tissues in the Czech Republic. *Vet Med-Czech* 66, 369–375.

FAO/WHO. (2023). General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed (CXS 193-1995). Codex Alimentarius International Food Standards. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization.

Fashola, M. O., Ngole-Jeme, V. M., & Babalola, O. O. (2016). *Heavy Metal Pollution from Gold Mines: Environmental Effects and Bacterial Strategies for Resistance. International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1047.

Garzón-Villalba, X. (2024). Todos merecemos vivir en un ambiente limpio: desnutrición y contaminación en Ecuador. Escuela de Salud Pública y Nutrición, Universidad San Francisco de Quito.

Government of Alberta. (2002). Guidelines for recycling water and oil field waste (Report No. 2002-663-40) [PDF]. <https://open.alberta.ca/dataset/c0be601e-1a64-4b7a-8be6-dbee9670d615/resource/d7d61b20-07c8-480a-ba61-44e4ecb77ce9/download/2002-663-40.pdf>

Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)

López-Ulloa, M., Jaimez, R. & Orozco, L. (2021). Guía 1: El cadmio en el cultivo de cacao. Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador (1.^a ed., pp. 1-20). Quito, Ecuador. https://balcon.mag.gob.ec/mag01/magapaldia/Caja%20de%20Herramientas_Cadmio_Cacao/

Mayo Clinic. (2022). Lead poisoning. Mayo Clinic. <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/lead-poisoning/symptoms-causes/syc-20354717>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2024). Perfil toxicológico de Cadmio (Cd), Número CAS 7440-43-9. Sistema de Información Ambiental Regional. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-arequipa/archivos/public/docs/162.pdf>

Molloy, J.B., Rodbell, D.T., Gillikin, D.P., & Hollocher, K.T. (2020). Citizen science campaign reveals widespread fallout of contaminated dust from mining activities in the central Peruvian Andes. *Geology*.

Muyulema-Allaica, J.C., Canga-Castillo, S.M., Pucha-Medina, P.M., & Espinosa-Ruiz, C.G. (2019). Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM)-Ecuador. *RIIT. Revista internacional de investigación e innovación tecnológica*, 7(41), 40-61. Epub 05 de febrero de 2021. Recuperado en 01 de diciembre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-97532019000600003&lng=es&tlng=es.

Nascimento, A.R., Nascimento, C.W., & Cunha, K.Z. (2020). Solos de minas de scheelita como fontes de contaminação por metais pesados. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*.

Numa Pompilio, C., Francisco, C., Marco Tulio, F.D., Sergio Samuel, S., & Fernanda Eliza, G. (2021). Heavy metals in blood, milk and cow's urine reared in irrigated areas with wastewater. *Heliyon*, 7.

Núñez, E.X., Barbosa, N.L., & Medellín, E.D. (2018). Simulación estadística de la galaxia espiral NGC 1309, aplicando el algoritmo de bootstrapping.

Paz, V., & Cuero, P. (2020, enero-diciembre). Evaluación de la contaminación por plomo de la refinería de Esmeraldas, en la sangre de la población de Vuelta Larga. *Horizontes de Enfermería*, 10, 83-94. <https://doi.org/10.32645/13906984.994>

Pérez García, P. E., & Azcona Cruz, M. I. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, 17(3), 199-205.

Plan V. (n.d.). *La minería ilegal tiene cuatro enclaves productivos que abarcan nueve provincias*. Recuperado el 18 de diciembre de 2024, de <https://planv.com.ec/historias/la-mineria-ilegal-tiene-cuatro-enclaves-productivos-que-abarcan-nueve/>

Raychaudhuri, S. S., Pramanick, P., Talukder, P., & Basak, A. (2021). Chapter 6 - Polyamines, metallothioneins, and phytochelatin—Natural defense of plants to mitigate heavy metals.

Reyes, P. (2021). Diagnóstico comunidad Voluntad de Dios. Nacionalidad Chachi. https://www.malimpia.gob.ec/images/comunidades/Diagnostico_Recinto_Voluntad_De_Dios.pdf

Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G.S., Simbaña-Farinango, K., Vélez-Terreros, P.Y., & Navarrete, H. (2020). Determination of cadmium and lead in tomato (*Solanum lycopersicum*) and lettuce (*Lactuca sativa*) consumed in Quito, Ecuador. *Toxicology Reports*, 7, 893-899.

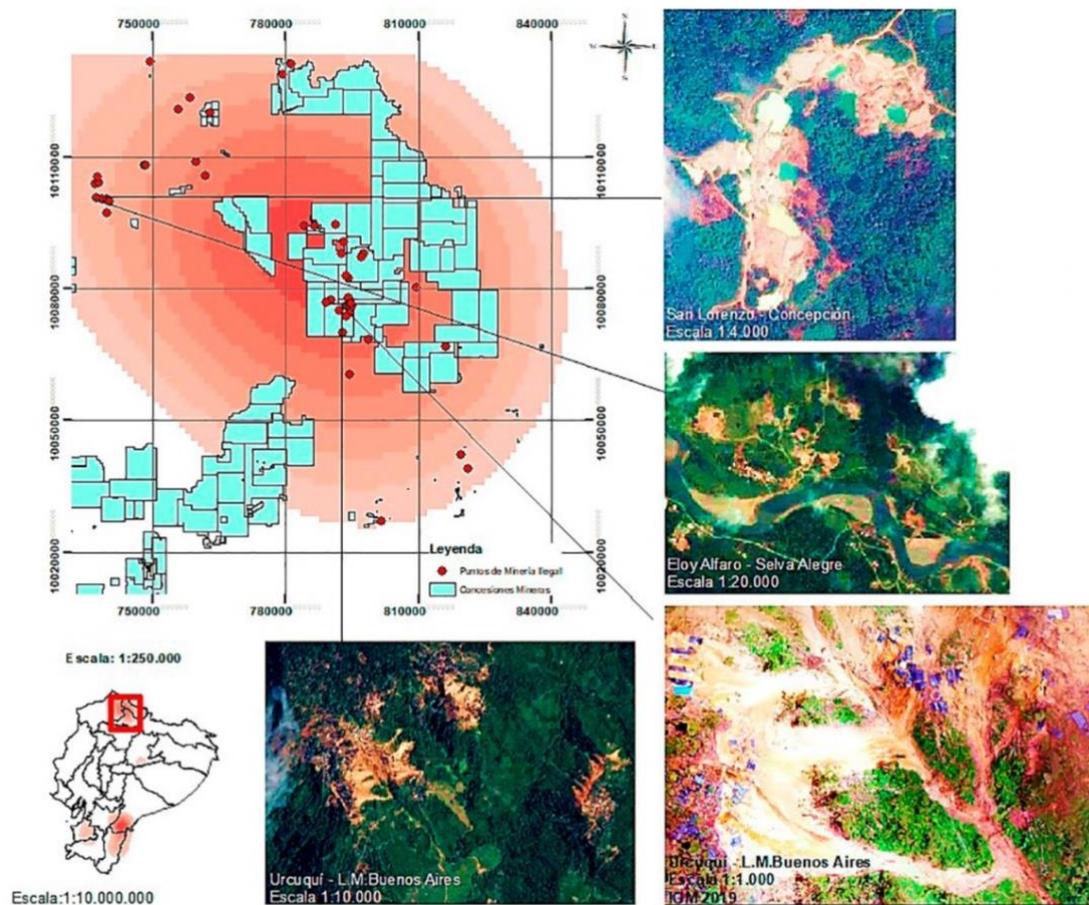
Santos Estrada, J. F., & Tutiven Puente, F. X. (2022). Método para análisis de Pb y Cd por medio de voltametría anódica de redisolución en leche

Wrzecińska, M., Kowalczyk, A., Cwynar, P., & Czerniawska-Piątkowska, E. (2021). Disorders of the Reproductive Health of Cattle as a Response to Exposure to Toxic Metals. *Biology*, 10.

Yadav, M., & Sharma, R. K. (2019). Vías verdes y sostenibles para la depuración de aguas residuales. En *Avances en técnicas de purificación de agua*.

ANEXOS

Anexo 1: Mapa de distribución de minería en diferentes sectores en Latinoamérica.



Muestra	Concentración Cd (ppb) 95% confianza	Concentración Pb (ppb) 95% confianza
M11	3,42 ± 4,93	28,39 ± 23,57
M1 2	ND	ND
M1 3	ND	17,98 ± 2,46
M1 4	ND	2,33 ± 1,25
M1 5	7,55 ± 4,60	16,64 ± 19,15
M1 6	ND	3,72 ± 0,59
M1 7	ND	9,39 ± 2,79
M1 8	ND	ND
M1 9	ND	13,61 ± 3,57
M1 10	ND	7,71 ± 5,63

ND: No detectable

Anexo 2: Tabla que representa los valores reportados del ajuste de la técnica (ASV TFME) para la detección de Pb y Cd por Santos Estrada, J. F., & Tutiven Puente, F. X. (2022). *Método para análisis de Pb y Cd por medio de voltametría anódica de redisolución en leche*