



## Determinación de plomo y cadmio en frutos de *Mangifera indica L.* (mango) cercanos a pozos de oxidación Determination of lead and cadmium in fruits of *Mangifera indica L.* (mango) near oxidation ponds

Neidi Alarcón-Cruz<sup>1\*</sup>; Romario Aníbal Peláez-Gonzales<sup>1\*</sup>; Julio Roger Chico-Ruiz<sup>2</sup>; Joseph Campos-Ruiz<sup>3</sup>; Sanderson Narciso Campos-Ruiz<sup>4</sup>; Nander Oriol Calle-Iparraguirre<sup>3</sup>; Elfer García-Carrasco<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Jaén. Laboratorio de Biología, Jaén, Cajamarca.

<sup>2</sup> Laboratorio de Fisiología y Cultivo Celulares. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo – Perú

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Innovación Agraria, Cajamarca, Perú.

<sup>4</sup> Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

Neidi Alarcón-Cruz

ID <https://orcid.org/0009-0009-5167-0833>

Romario Aníbal Peláez-Gonzales

ID <https://orcid.org/0009-0003-0204-068X>

Julio Roger Chico-Ruiz

ID <https://orcid.org/0000-0002-7287-321X>

Joseph Campos-Ruiz

ID <https://orcid.org/0000-0002-6994-4670>

Sanderson Narciso Campos-Ruiz

ID <https://orcid.org/0000-0001-9308-1767>

Nander Oriol Calle-Iparraguirre

ID <https://orcid.org/0000-0002-0999-7236>

Elfer García-Carrasco

ID <https://orcid.org/0009-0007-2483-0200>

### Artículo Original

Recibido: 11 de febrero de 2025

Aceptado: 30 de mayo de 2025

### Resumen

Los metales pesados constituyen una de las principales fuentes de contaminación ambiental debido a su persistencia, bioacumulación y efectos adversos sobre los ecosistemas y la salud humana. El presente estudio tuvo como objetivo determinar las concentraciones de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en frutos de *Mangifera indica L.* cultivados en áreas adyacentes a pozos de oxidación en el distrito y provincia de Jaén, Perú. La cuantificación de los metales se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica, siguiendo la normativa USEPA (1996) y el método 3052. Los resultados indicaron que el 33,3 % de las muestras superaron los límites máximos permisibles de Pb y el 3,33 % excedieron los valores establecidos para Cd, conforme al Codex Alimentarius, la Unión Europea y la legislación rusa. Asimismo, se observó mayor concentración de Pb en frutos de la parte inferior de la copa y de Cd en la zona media. En conclusión, los frutos evaluados no son aptos para consumo humano, representando un riesgo potencial para la salud pública.

**Palabras clave:** Aguas residuales, cadmio, metales pesados, plomo, PTAR.

### Abstract

Heavy metals are among the main sources of environmental contamination due to their persistence, bioaccumulation, and adverse effects on ecosystems and human health. This study aimed to determine the concentrations of lead (Pb) and cadmium (Cd) in fruits of *Mangifera indica L.* cultivated in areas adjacent to oxidation ponds in the district and province of Jaén, Peru. Metal quantification was performed using atomic absorption spectrophotometry, following USEPA (1996) guidelines and method 3052. The results showed that 33.3% of the samples exceeded the maximum permissible limits for Pb, while 3.33% surpassed the established limits for Cd, according to the Codex Alimentarius, European Union regulations, and Russian legislation on heavy metals. Higher Pb concentrations were detected in fruits located in the lower canopy, whereas the highest Cd levels were found in the middle canopy. In conclusion, the evaluated fruits are not suitable for human consumption, representing a potential public health risk due to chronic exposure to heavy metals.

**Keywords:** Wastewater, cadmium, heavy metals, lead, WWTP.

\*Autor para correspondencia: E. mail: [neidi.alarcon@est.unj.edu.pe](mailto:neidi.alarcon@est.unj.edu.pe)

DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2025.45.01.09>

Citar como:

Alarcón-Cruz, N., Peláez-Gonzales, R. A., Chico-Ruiz, J. R., Campos-Ruiz, J., Campos-Ruiz, S. N., Calle-Iparraguirre, N. O., & García-Carrasco, E.(2025). Determinación de plomo y cadmio en frutos de *Mangifera indica L.* (mango) cercanos a pozos de oxidación. *REBIOL*, 45(1), 75–84.



## 1. Introducción

Los metales pesados han estado históricamente asociados a diversas actividades humanas; sin embargo, en las últimas décadas su liberación al ambiente se ha incrementado de manera acelerada, generando alteraciones significativas en los ecosistemas terrestres y acuáticos. En particular, las plantas que se encuentran en contacto directo con estos contaminantes suelen ser las más afectadas, ya que incorporan los metales en sus tejidos, lo que puede modificar su fisiología y comprometer su supervivencia (Hernández et al., 2022). Las principales fuentes de contaminación por metales pesados incluyen actividades antrópicas como la minería a gran escala, el uso intensivo de combustibles fósiles, las emisiones industriales de baja calidad ambiental y la aplicación de fertilizantes y pesticidas que contienen estos elementos (Hai, 2024).

Los metales pesados constituyen además uno de los principales contaminantes de los recursos hídricos. Entre las estrategias para mitigar este problema se encuentran las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR); no obstante, cuando estas infraestructuras son abandonadas o gestionadas de manera inadecuada, pueden convertirse en focos secundarios de contaminación. En muchos casos, las aguas residuales tratadas de forma deficiente son reutilizadas para el riego agrícola, favoreciendo la acumulación de metales pesados en los suelos y cultivos (Llatance, 2019). En este contexto, la presencia de metales pesados en los alimentos representa una amenaza directa para la salud pública, dado que varios de estos elementos están asociados a efectos carcinogénicos y a enfermedades crónicas (Soto et al., 2020).

Desde el punto de vista biológico, no todos los metales pesados cumplen una función esencial en los organismos. Elementos como el cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), antimonio (Sb), bismuto (Bi), estaño (Sn) y titanio (Ti) carecen de un rol fisiológico conocido y, al acumularse en los tejidos humanos, pueden provocar diversos trastornos debido a su elevada toxicidad y capacidad de bioacumulación (Barragán & Carrera, 2019). En contraste, metales como manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), selenio (Se) y molibdeno (Mo) son considerados esenciales, ya que participan en múltiples procesos metabólicos en las plantas. Sin embargo, los metales no esenciales, al competir por los sitios de unión de proteínas, generan efectos tóxicos que se manifiestan en síntomas como clorosis, retraso del crecimiento, oscurecimiento de raíces e incluso mortalidad vegetal bajo condiciones de estrés (Shakeel et al., 2022).

El plomo (Pb) es uno de los metales pesados de mayor preocupación debido a sus efectos adversos tanto en la salud humana como en el crecimiento y la calidad nutricional de los cultivos. Aunque es un elemento de origen natural, su concentración ambiental ha aumentado significativamente como consecuencia de actividades humanas como la minería, la fundición, los procesos industriales y el uso de pesticidas que contienen Pb. Una vez incorporado al suelo, este metal puede ser absorbido por las plantas e ingresar a la cadena alimentaria, representando un riesgo potencial para los consumidores (Xiong et al., 2021). De manera similar, el cadmio (Cd) es altamente tóxico para las plantas, causando clorosis, enrollamiento foliar, inhibición del crecimiento y alteraciones en la fotosíntesis, el intercambio gaseoso y la absorción de nutrientes esenciales (Muhammad et al., 2015).

Diversos estudios han demostrado que todas las plantas poseen la capacidad de absorber metales pesados, aunque la magnitud de dicha absorción depende de la especie, la naturaleza del metal y su concentración en el suelo (Huaranga et al., 2021; Adrees et al., 2015). Si bien las plantas cuentan con mecanismos fisiológicos de defensa para tolerar y detoxificar estos elementos, una exposición excesiva puede superar su capacidad adaptativa y conducir a daños irreversibles o a la muerte vegetal (Shakeel et al., 2022).

En este contexto, surgió la necesidad de evaluar la presencia de cadmio y plomo en frutos de *Mangifera indica* L. cultivados en áreas circundantes a los efluentes de las lagunas de oxidación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la EPS Marañón, considerando que estos frutos son comercializados en los mercados de la ciudad de Jaén. Por ello, el objetivo del presente estudio fue analizar las concentraciones de Cd y Pb en frutos de *Mangifera indica* L. expuestos a aguas residuales mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, y determinar si dichas concentraciones superan los límites máximos permisibles establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius, la Unión Europea y la legislación rusa sobre metales pesados.

## 2. Materiales y Métodos

### Área de estudio

Se recolectaron muestras de frutos de *Mangifera indica* L. en plantas ubicadas cerca de la PTAR de la EPS Marañón, en el sector Linderos del distrito y provincia de Jaén. Las muestras de *Mangifera indica* L. fueron analizadas en el

**Población, muestra, muestreo**

La población estuvo conformada por 18 árboles de *Mangifera indica* L. que se encontraban dentro del área de influencia (100 m) del efluente de las lagunas de oxidación, de la planta de tratamiento de aguas residuales de la EPS Marañón. La muestra estuvo constituida por 3 frutos de 10 árboles de *Mangifera indica* L. haciendo un total de 30 frutos de mango, ubicados hasta seis metros del efluente de las lagunas de oxidación. Cabe precisar que la muestra se consideró 10 árboles debido a que 8 árboles de *Mangifera indica* L. fueron talados.

**Selección de los árboles y recolección de muestras**

Se identificó las plantas de mango más cercanas a las pozas de oxidación. Una vez identificados los árboles se procedió a esperar que los frutos presenten una madurez industrial y se procedió a colectar 1 fruto de la parte baja de la copa, otro de la parte media y finalmente 1 de la parte superior de cada árbol muestreado, una vez colectadas las muestras se colocaron en bolsas herméticas y se las rotuló con las coordenadas de la planta y se les asignó un código (Sarabia et al., 2020).

**Trabajo de laboratorio**

La digestión del fruto se tuvo en cuenta el procedimiento de Barragán y Carrera (2019), Cruz et al. (2022) y García et al. (2022), en la digestión y pulverización de frutos de mango se utilizó un sistema de digestión asistida por microondas teniendo en cuenta la norma USEPA 1996 y el método 3052. Se procedió a cortar cada muestra vegetal recolectada en pequeños trozos con ayuda de una navaja, luego se colocó en recipientes y se llevó a la estufa por un periodo de 24 horas, una vez las muestras secas se trituraron hasta convertirlas en polvo, seguidamente se pesó 0.5 mg de cada muestra en una balanza analítica, una vez pesadas todas las muestras se introdujeron junto con el Ácido Nítrico en pequeños tubos del equipo de digestión por microondas, pasado un lapso de aproximadamente 30 minutos se retiraron las muestras y se procedió a depositar en matraces y se le agregó agua destilada. Finalmente se empezó el proceso de lectura de metales en el espectrofotómetro. Para la

evaluación de la presencia y concentración de plomo y cadmio mediante la técnica de espectroscopía de absorción atómica se tuvo en cuenta el procedimiento de Salvatierra (2022), Falero (2021), Santander et al. (2021) y Llatance (2019) por lo que primero se estableció la longitud de onda, seguidamente se instaló la celda de absorción y se alineó la trayectoria de la luz; luego se conectó el equipo asociado a la celda de absorción; posteriormente se realizó la determinación de la cantidad de estos metales en los frutos de mango mediante el software del espectrofotómetro de absorción atómica.

**Figura 1**

*Preparación de muestras y evaluación de la presencia de Pb y Cd*

**Análisis de datos**

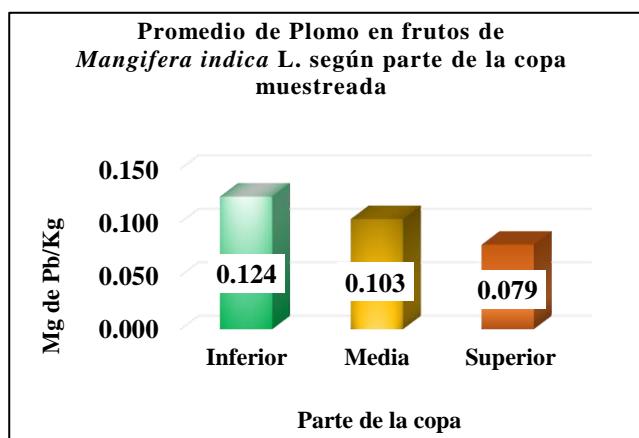
Mediante el análisis de correlación se determinó la relación de metales pesados presentes en las aguas residuales absorbidas por el mango. Se utilizó el diseño descriptivo del tipo comparativo porque nos permite comparar una misma variable en diferentes muestras frutos de mango, para ver si tienen la misma o diferente concentración de metales pesados (Tresierra, 2010). Para analizar los datos estadísticamente se procesó en el software SPSS y Microsoft Excel.

**3. Resultados****Presencia y concentración de Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) en frutos de *Mangifera indica* L.**

En la figura 2 se muestra el promedio del porcentaje de Plomo. Las muestras colectadas de la parte inferior de la copa, tienen la concentración promedio más alta de Plomo, con 0.103 mg/kg, seguidas por las muestras de la capa intermedia con 0.099 mg/kg, y finalmente, las muestras de la capa superior muestran el menor porcentaje promedio de Plomo, con 0.095 mg/kg.

Figura 2

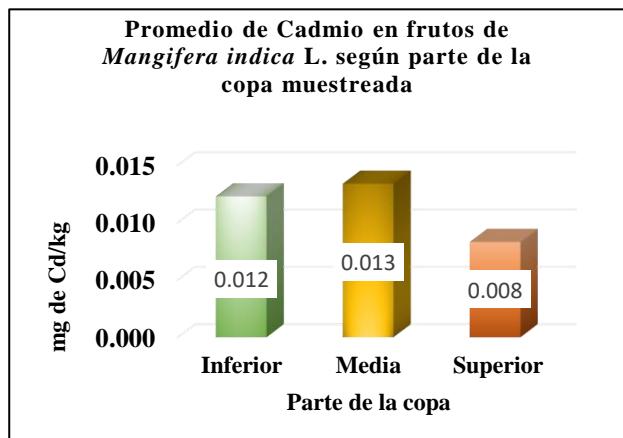
Promedio de Plomo en frutos de *Mangifera indica L.* según parte de la copa muestreada



En la figura 3 se muestra el promedio del porcentaje de Cadmio. Las muestras colectadas de la parte media de la copa, tienen la concentración promedio más alta de Cadmio, con 0.013 mg/kg, seguidas por las muestras de la copa inferior con 0.012 mg/kg, y finalmente, las muestras de la capa superior muestran el menor porcentaje promedio de Cadmio, con 0.008 mg/kg. Además, se observa que las concentraciones más altas de Plomo se encontraron en las muestras de la parte media de la copa, representando el 70% del total de muestras con valores más altos, seguido por las muestras de la parte inferior de la copa, representando el 30%.

Figura 3

Promedio de Cadmio en frutos de *Mangifera indica L.* según parte de la copa muestreada

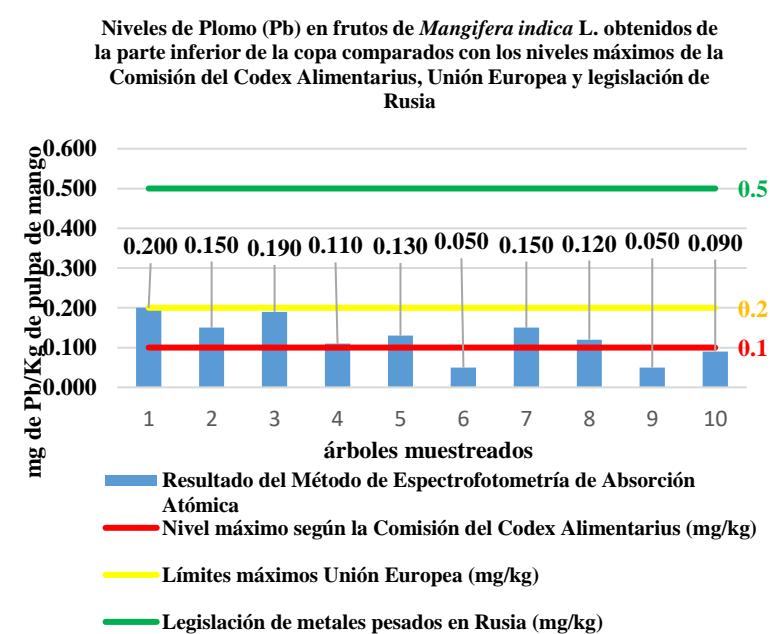


Comparación de valores de Plomo (Pb) en frutos de *Mangifera indica L.* con los valores máximos permisibles de la Comisión del Codex Alimentarius, Unión Europea y legislación de Rusia

Niveles de Plomo en frutos de *Mangifera indica L.* de la parte inferior de la copa. En la figura 4 se percibe que un 70% frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte inferior de la copa superan el nivel máximo estipulado por la Comisión del Codex Alimentarius (2022); así mismo, se percibe que dichos valores no superan los niveles máximos de la Unión Europea (2021) y legislación de metales pesados de Rusia.

Figura 4

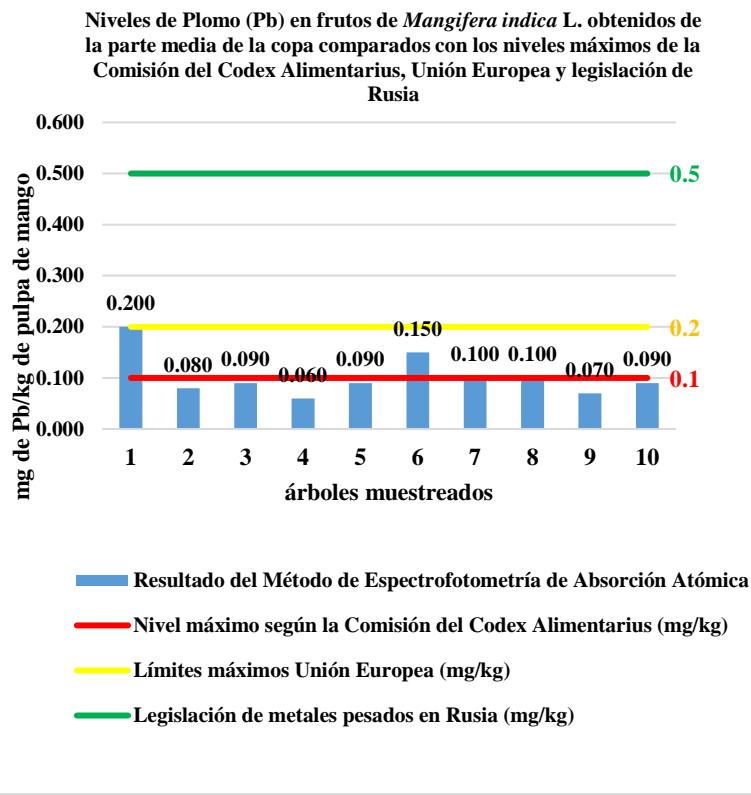
Niveles de Plomo (Pb) en frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte inferior de la copa comparados con los niveles máximos de la Comisión del Codex Alimentarius, Unión Europea y legislación de Rusia



Niveles de Plomo en frutos de *Mangifera indica L.* de la parte media de la copa. En la figura 5 se percibe que un 20% frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte media de la copa superan el nivel máximo estipulado por la Comisión del Codex Alimentarius (2022); así mismo, se percibe que dichos valores no superan los niveles máximos de la Unión Europea (2021) y legislación de metales pesados de Rusia.

Figura 5

Niveles de Plomo (Pb) en frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte media de la copa comparados con los niveles máximos de la Comisión del Codex Alimentarius, Unión Europea y legislación de Rusia

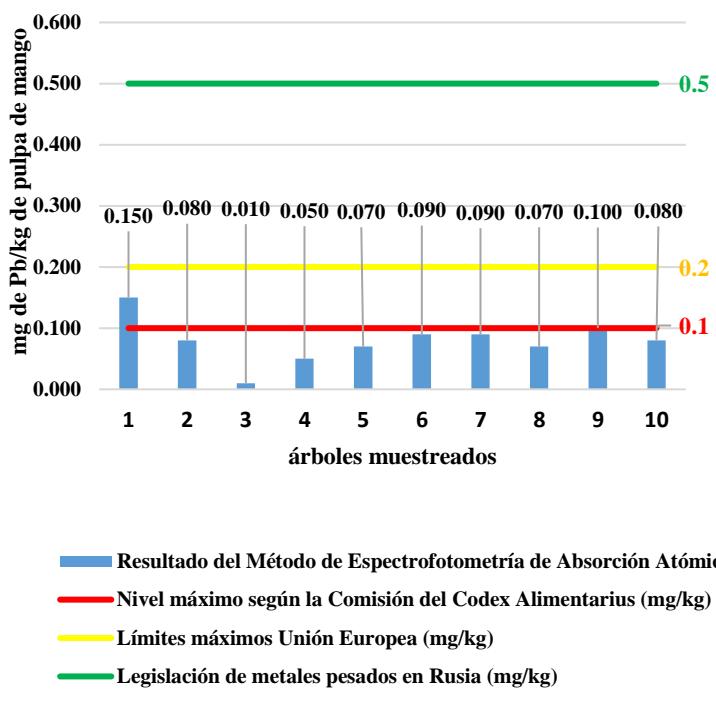


Niveles de Plomo en frutos de *Mangifera indica L.* de la parte superior de la copa. En la figura 6 se percibe que un 10% frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte superior de la copa superan el nivel máximo estipulado por la Comisión del Codex Alimentarius (2022), así mismo, se percibe que dichos valores no superan los niveles máximos de la Unión Europea (2021) y legislación de metales pesados de Rusia.

Figura 6

Niveles de Plomo (Pb) en frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte superior de la copa comparados con los niveles máximos de la Comisión del Codex Alimentarius, Unión Europea y legislación de Rusia

Niveles de Plomo (Pb) en frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte superior de la copa comparados con los niveles máximos de la Comisión del Codex Alimentarius, Unión Europea y legislación de Rusia



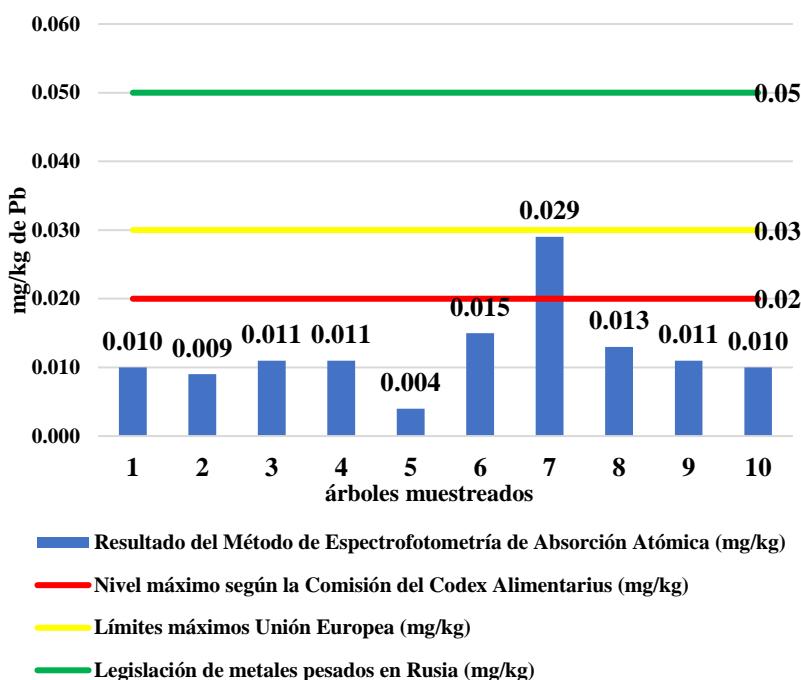
Comparación de valores de Cadmio (Cd) en frutos de *Mangifera indica L.* con los valores máximos permisibles de la Comisión del Codex Alimentarius, la Unión Europea y Legislación de metales pesados

Niveles de Cadmio en frutos de *Mangifera indica L.* de la parte inferior de la copa. En la figura 7 se percibe que un 10% de frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte inferior de la copa superan el nivel máximo estipulado por la Comisión del Codex Alimentarius (2022), así mismo, se percibe que dichos valores no superan los niveles máximos de la Unión Europea (2021) y legislación de metales pesados de Rusia.

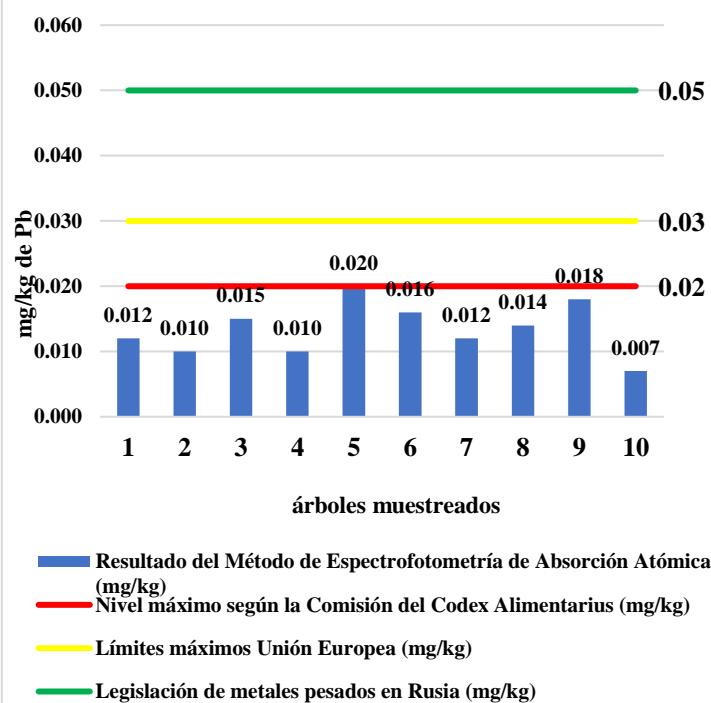
Figura 7

Niveles de Cadmio (Cd) en frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte inferior de la copa comparados con los niveles máximos de la Comisión del Codex Alimentarius, Unión Europea y legislación de Rusia.

Niveles de Cd en frutos *M. indica L.*, obtenidos de la parte inferior de la copa de los árboles muestreados



Niveles de Cd en frutos *M. indica L.*, obtenidos de la parte media de la copa de los árboles muestreados



Niveles de Cadmio en frutos de *Mangifera indica L.* de la parte media de la copa. En la figura 8 se percibe que ningún fruto de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte media de la copa superan el nivel máximo estipulado por la Comisión del Codex Alimentarius (2022), Unión Europea (2021) y legislación de metales pesados de Rusia.

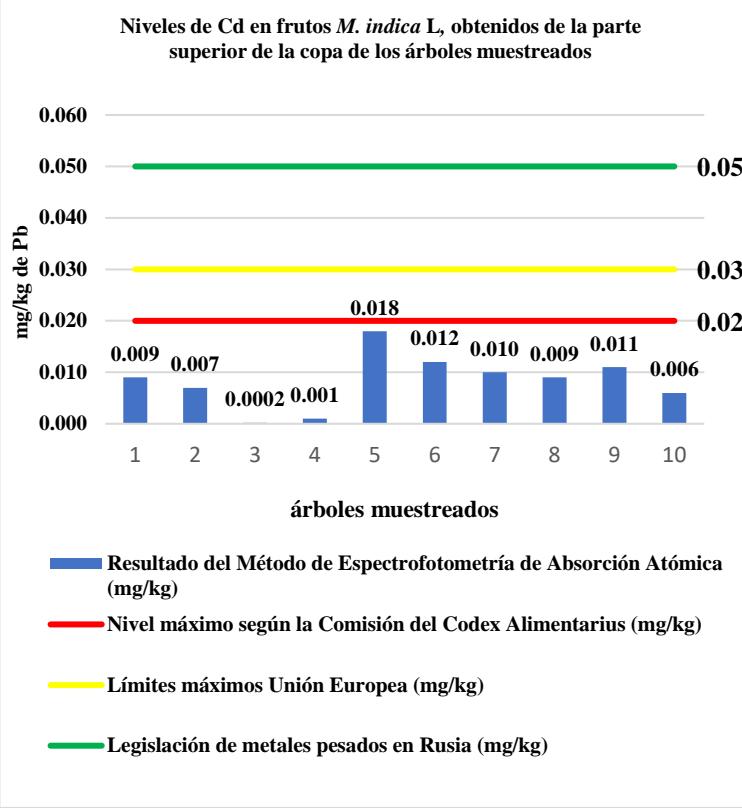
Figura 8

Niveles de Cadmio (Cd) en frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte media de la copa comparados con los niveles máximos de la Comisión del Codex Alimentarius, Unión Europea y legislación de Rusia

Niveles de Cadmio en frutos de *Mangifera indica L.* de la parte superior de la copa. En la figura 9 se percibe que ningún fruto de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte superior de la copa superan el nivel máximo estipulado por la Comisión del Codex Alimentarius (2022), Unión Europea (2021) y legislación de metales pesados de Rusia.

Figura 9

Niveles de Cadmio (Cd) en frutos de *Mangifera indica L.* obtenidos de la parte superior de la copa comparados con los niveles máximos de la Comisión del Codex Alimentarius, Unión Europea y legislación de Rusia



#### 4. Discusión

Los resultados obtenidos evidencian una distribución diferencial del plomo (Pb) en los frutos de *Mangifera indica L.* según la posición en la copa del árbol. Las mayores concentraciones promedio de Pb se registraron en los frutos ubicados en la parte inferior de la copa (0,103 mg/kg), seguidos de la zona media (0,099 mg/kg), lo que sugiere una limitada movilidad del metal dentro de los tejidos vegetales. Este comportamiento puede explicarse por la baja translocación del Pb desde las raíces hacia los órganos aéreos más jóvenes, debido a su fuerte afinidad por las paredes celulares y las superficies radiculares, lo que restringe su transporte a través del xilema (Cahuana & Aduvire, 2019). En consecuencia, el Pb tiende a acumularse preferentemente en estructuras más antiguas o próximas al sistema radicular.

Adicionalmente, la mayor concentración de Pb en las partes inferiores de la copa podría estar influenciada por sus propiedades fisicoquímicas, como su elevado peso atómico, así como por factores ambientales y fisiológicos de la planta. Salas et al. (2019) señalan que la acumulación

de metales pesados en los órganos vegetales depende de múltiples factores, entre ellos la absorción gradual desde el suelo, la deposición atmosférica y la exposición directa a contaminantes. Estos mecanismos concuerdan con los resultados del presente estudio, donde los frutos de la parte inferior de la copa presentaron mayores niveles de Pb en comparación con los de las zonas media y superior.

Al contrastar los resultados con estudios previos, las concentraciones de Pb encontradas en esta investigación fueron inferiores a las reportadas por Villacorta (2022) en diversos cultivos hortofrutícolas, como fresa, durazno, lechuga y hierbabuena, cuyos valores superaron ampliamente los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud. No obstante, los valores obtenidos fueron superiores a los reportados por García et al. (2019) en frutos de pimentón, lo que evidencia la variabilidad en la acumulación de Pb según la especie vegetal, el tipo de suelo y las condiciones ambientales. Asimismo, el SENASA (2021) documentó la presencia de Pb en cultivos como naranja, mandarina y papa, así como en *Prosopis laevigata* ("algarrobo"), especie con capacidad hiperacumuladora de este metal (Flores, 2019). De manera similar, Jesús y Correa (2021) reportaron concentraciones elevadas de Pb en jugos de naranja comercializados en Huaral, superando los límites establecidos por el Codex Alimentarius.

En relación con el cadmio (Cd), se observó que los frutos localizados en la parte media de la copa presentaron la mayor concentración promedio (0,013 mg/kg), seguidos por los frutos de la parte inferior (0,012 mg/kg) y superior (0,008 mg/kg). Este patrón puede atribuirse a la dinámica del transporte interno del Cd, el cual es absorbido por las raíces y translocado a través de la savia, acumulándose preferentemente en zonas donde el flujo es más lento, como la región media de la copa (Hernández et al., 2019). La mayor densidad de ramas y hojas en esta zona podría favorecer la retención del metal en los frutos.

Los valores de Cd obtenidos fueron inferiores a los reportados por Santander (2021) en testa de cacao y similares a los encontrados por García et al. (2019) en pimentón, lo que sugiere que *Mangifera indica* L. presenta una menor capacidad de acumulación de Cd en comparación con otros cultivos. Sin embargo, Beltrán et al. (2016) señalan que, aunque algunas plantas pueden detoxificar parcialmente el Cd transformándolo en formas menos tóxicas, este proceso es menos eficiente en tejidos más maduros, lo que explicaría la mayor acumulación observada en las zonas media e inferior de la copa.

Al comparar los resultados con investigaciones previas realizadas en condiciones de riego convencional, como las de Calderón et al. (2024) y Vargas (2019), se observa que las concentraciones de Pb en dichos estudios no superaron los límites máximos permisibles. Esta diferencia podría atribuirse al uso de aguas residuales para el riego en el área de estudio, lo que incrementa la disponibilidad de metales pesados en el suelo y su posterior absorción por las plantas. En este sentido, el 70 % de los frutos evaluados en la parte inferior de la copa superaron el límite máximo establecido por la Comisión del Codex Alimentarius (2022), aunque no excedieron los valores fijados por la Unión Europea (2021) ni por la legislación rusa sobre metales pesados.

Por otro lado, las concentraciones de Cd registradas se mantuvieron por debajo de los límites máximos establecidos por los organismos internacionales evaluados. No obstante, estudios previos coinciden en que la exposición crónica a bajas concentraciones de Cd puede representar un riesgo para la salud humana debido a su capacidad de bioacumulación, afectando principalmente la función renal (Comisión Europea, 2021). En este contexto, la Organización Mundial de la Salud (2022) advierte que incluso niveles bajos de Pb y Cd pueden generar efectos adversos en los sistemas nervioso, cardiovascular, reproductivo y respiratorio, así como problemas de desarrollo y enfermedades crónicas, lo que resalta la necesidad de implementar medidas de

mitigación para reducir la concentración de estos metales en cultivos destinados al consumo humano.

## 5. Conclusiones

Se confirmó la presencia de cadmio (Cd) y plomo (Pb) en los frutos de *Mangifera indica* L. provenientes de distintas posiciones de la copa, evidenciando una distribución diferencial de estos metales pesados dentro del árbol. Las concentraciones de Pb fueron mayores en los frutos ubicados en la parte inferior de la copa (0,103 mg/kg), seguidas por la zona media (0,099 mg/kg) y la superior (0,095 mg/kg). En contraste, el Cd presentó su mayor concentración promedio en la parte media de la copa (0,013 mg/kg), seguido por la parte inferior (0,012 mg/kg) y la superior (0,008 mg/kg).

El 37 % de las muestras analizadas superaron el límite máximo permisible de Pb (0,1 mg/kg) establecido por la Comisión del Codex Alimentarius (2022), concentrándose principalmente en los frutos de la parte inferior de la copa (70 %), seguidos por la zona media (20 %) y la superior (10 %). En el caso del Cd, solo el 3 % de las muestras excedieron el límite máximo permisible (0,02 mg/kg), correspondiendo el 70 % a frutos de la parte media de la copa y el 30 % a la parte inferior.

En conjunto, los resultados evidencian un riesgo potencial para la inocuidad alimentaria asociado al consumo de frutos de *Mangifera indica* L. cultivados en áreas expuestas a aguas residuales, lo que resalta la necesidad de implementar medidas de control y monitoreo ambiental en zonas agrícolas cercanas a plantas de tratamiento de aguas residuales.

## 6. Contribución de los autores

NAC: Trabajo de campo y laboratorio, RAPG: Trabajo de campo y laboratorio, JRCR: En la concepción y el diseño del estudio, revisión final, JCR: En la concepción, el diseño del estudio, redacción del manuscrito, SNCR: Obtención de datos y análisis estadístico, NOCI: Trabajo de campo y obtención de datos, EGC: Trabajo de campo y obtención de datos.

## 7. Conflicto de intereses

Los autores aseguran que no presentan ningún conflicto de intereses.

## 8. Referencias Bibliográficas

- Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Farooq, M., & Kashif, M. (2015). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 119(1), 186–197. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.05.011>
- Alban, L. D., & Calle, J. J. (2020). *Metales pesados en Mangifera indica L. cultivada a orillas del río Amarillo y su repercusión socioambiental – 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio institucional. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15579>
- Barragán, J. M., & Carrera, L. A. (2019). *Determinación del valor nutricional y metales pesados en Mangifera indica* [Tesis de pregrado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40716>
- Beltrán, M. E., & Gómez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados: Mecanismos bioquímicos e ingeniería genética. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172–197. <https://doi.org/10.18359/rfcba.2027>
- Cahuana, L., & Aduvire, O. (2019). Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas con pasivos ambientales mineros en el Perú. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 4(2), 19–36. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522019000200002](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200002)
- Calderón, E. L., & Concha, R. (2024). *Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4913>
- Comisión del Codex Alimentarius. (2022). *Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/2db9ccc2-bae7-4c5c-b558-1b2fdff0f2c/content>
- Cruz, M., & González, C. E. (2022). *Determinación de los niveles de arsénico en frutas comercializadas en los principales mercados de Puente Piedra* [Tesis de pregrado, Universidad María Auxiliadora]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12970/1003>
- Falero, Y. (2021). *Determinación de metales pesados en banano orgánico producido en el distrito de Buenos Aires, Valle Alto Piura-Morropón* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2795>
- Fiallos, M. C. (2017). *Cuantificación de metales pesados y calidad microbiológica de frutas y vegetales expendidos en el mercado mayorista de Ambato* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25296>
- Flores, R. (2019). *Efectos adversos de metales pesados en la agricultura de la cuenca baja del río Huaura* [Tesis doctoral, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unjfc.edu.pe/handle/UNJFSC/1618>
- García, R. J., Bravo, L. R., & Pérez, J. C. (2022). Determinación de metales pesados en pulpa de fruta de *Capsicum annuum* L. *Centro Azúcar*, 49(2), 122–135. <http://centroazucar.ulcv.edu.cu/>
- García, D. (2016). *Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de Zea mays expuestas a toxicidad por plomo* [Tesis de pregrado, Universidad de Valencia]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/19207>
- pregrado, Universidad Autónoma de Barcelona]. Repositorio institucional. <http://ddd.uab.cat/record/37936>
- Gutiérrez, L. A. (2023). *Implementación de un sistema de control de calidad basado en la norma BRCGS* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/6152>
- Hai, L., Gaofeng, C., Qi, J., Junfei, L., & Yingbo, D. (2024). Effects of microplastics on the absorption and accumulation of heavy metals in plants: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111812>
- Hernández, C., Ramírez, V., Martínez, J., Quintero, V., Báez, A., Munive, J. A., & Rosas Murrieta, N. (2022). Los metales pesados en la historia de la humanidad. *Alianzas y Tendencias BUAP*, 7(27), 1–68. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7091407>
- Hernández, Y., Rodríguez, P., Peña, M., Meriño, Y., & Cartaya, O. (2019). Toxicidad del cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. *Cultivos Tropicales*, 40(3), 1–19.
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., Bernui, F., Costilla, N., & Huaranga, F. (2021). Determinación de metales pesados en la zona de influencia del relleno sanitario de Sonsonate. *Arnaldoa*, 28(1), 149–162. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.281.28109>
- Jesús, J., & Correa, C. (2021). *Concentración de cadmio y plomo en jugos de naranja* [Tesis de grado, Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.14140/724>
- Llatance, W. G. (2019). *Caracterización de la respuesta fisiológica de Salvinia sp. frente a metales pesados* [Tesis de posgrado, Pontificia Universidad Católica Argentina]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/9634>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). *Intoxicación por plomo y salud*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Salas, C., Garduño, M. A., Mendiola, P., Vences, J. H., Zetin, V. C., Martínez, O. C., & Ramos, M. D. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos. <https://www.redalyc.org/journal/813/81359562002/html>
- Santander, W., Garay, R., Verde, C., & Mendieta, O. (2021). Determinación del contenido de cadmio en cacao. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 39–49. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.321>
- Shakeel, A., Bashir, O., Anam, S., Haq, U., Amin, T., Rafiq, A., Ali, M., Pinheiro, P. A., & Sher, F. (2022). Phytoremediation of heavy metals in soil and water. *Chemosphere*, 303, 134788. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>
- SENASA. (2021). *Informe del monitoreo de residuos químicos en alimentos agropecuarios*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/>
- Soto, M., Rodríguez, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., & Garate, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49–59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- Trigoso, D., Florida, N., & Rengifo, A. (2023). Indicadores fisiocoquímicos del suelo bajo riego. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, 37(1), 117–129. <https://doi.org/10.17163/lgr.n37.2023.09>
- Villacorta, J. (2022). *Concentración de plomo en frutas y vegetales de consumo humano* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/19207>
- Xiong, Z., Yang, J., & Zhang, K. (2021). Effects of lead contamination on seed germination. *Pakistan Journal of Botany*.

Zapata, J. (2019). *Contenido de metales pesados en vegetación alrededor de una mina cerrada en Piura* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio institucional.  
<https://hdl.handle.net/11042/4052>