

Riesgo toxicológico por cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.) comercializados en el cantón Buena Fe, Ecuador.

*Toxicological risk from cadmium in corn kernels (*Zea mays* L.) sold in the Buena Fe district, Ecuador.*

Barragán-Monrroy, Roberto Johan¹; Guzmán-Almendariz, Dolman Josué²; Cevallos-Herrera, Damaris Zulema³; Monroy-Barragán, Gladys Gissela⁴.

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0000-0003-4682-5529>; rbarraganm@uteq.edu.ec

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0005-5411-1907>; dguzman@uteq.edu.ec

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo; Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0005-6368-2525>; dcevallosh@uteq.edu.ec

⁴ Unidad Educativa San Carlos; Ecuador, Quevedo; <https://orcid.org/0009-0003-8552-3280>; gladys1818@hotmail.com

Cita: Barragan-Monrroy, R. J., Guzmán-Almendariz, D. J., Cevallos-Herrera, D. Z., & Monroy-Barragán, G. G. (2025). Riesgo toxicológico por cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.) comercializados en el cantón Buena Fe, Ecuador. *Innova Science Journal*, 3(E1), 269-288. <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/nE1/193>

Recibido: 29/08/2025

Aceptado: 15/12/2025

Publicado: 31/12/2025



Copyright: © 2025 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC)**.

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

¹ Autor Correspondencia

 <https://doi.org/10.63618/omd/isj/v3/nE1/193>

Resumen: El cadmio (Cd) es un metal altamente tóxico, capaz de acumularse en el organismo del ser humano y causar cáncer debido a la ingesta de alimentos como el maíz, el cual es considerado un cereal con alta capacidad de resistencia a los metales pesados, por lo tanto, la investigación tiene como objetivo evaluar el riesgo toxicológico por cadmio en granos de maíz que son comercializados en el cantón Buena Fe. Para la cuantificación de cadmio se tomó muestras de maíz de manera aleatoria por triplicado en cuatro comercios y una testigo; posteriormente se envió a un laboratorio certificado para el proceso de EEA-HG; se determinó el riesgo toxicológico considerando la dosis de exposición, índice de peligro, dosis de ingesta, riesgo no cancerígeno y riesgo de cáncer. Los resultados determinaron que las concentraciones promedio de cadmio en maíz son de $1,23 \pm 0,61$ mg/kg superando así los límites máximos permisibles de la normativa INEN 187: 2013, Codex Alimentarius y las directrices de la Unión Europea (0,1 mg/kg), así mismo, en la evaluación toxicológica el riesgo es bajo tanto en género y edades.

Palabras clave: Salud humana; metales pesados; cáncer; contaminación; toxicidad.

Abstract: Cadmium (Cd) is a highly toxic metal that can accumulate in the human body and cause cancer due to the consumption of foods such as corn, which is considered a cereal with high resistance to heavy metals. Therefore, the objective of this research is to evaluate the toxicological risk of cadmium in corn kernels sold in the Buena Fe canton. To quantify cadmium, corn samples were taken randomly in triplicate from four stores and one control; they were then sent to a certified laboratory for EEA-HG processing; the toxicological risk was determined considering the exposure dose, hazard index, intake dose, non-carcinogenic risk, and cancer risk. The results determined that the average cadmium concentrations in corn are 1.23 ± 0.61 mg/kg, thus exceeding the maximum permissible limits of INEN 187: 2013, Codex Alimentarius, and European Union guidelines (0.1 mg/kg). Likewise, in the toxicological evaluation, the risk is low for both gender and age groups.

Keywords: Human health; heavy metals; cancer; pollution; toxicity.

1. Introducción

El cadmio (Cd) es un metal pesado altamente tóxico que contamina el suelo y supone un riesgo significativo para la seguridad alimentaria. Su presencia es motivo de preocupación ambiental debido a la capacidad de acumularse en las plantas y afectar a la salud humana, siendo considerado un elemento potencialmente cancerígeno (Barzola, 2024; Zhang et al., 2019). Se estima que aproximadamente 30,000 toneladas de cadmio son liberadas anualmente al ambiente (Hernández et al., 2019), como consecuencia de las actividades industriales, el uso de fertilizantes y pesticidas en la agricultura, lo que representa una amenaza preocupante en países agrícolas como Colombia, Ecuador, Costa Rica, Perú, Bolivia (Fox et al., 2020).

A nivel mundial existen importantes cultivos como el maíz (*Zea mays* L.) el cual es uno de los cereales más consumidos debido a su alta producción y su uso en productos comerciales, desde alimentos hasta plásticos y combustibles, además ofrece una gran cantidad de nutrientes y calorías a millones de personas en el mundo (Gaiss et al., 2019). La FAO menciona que el maíz es el segundo producto más producido de tal manera que en los últimos años se encuentra con presencia en América (49,90%), Asia (31,70%), Europa (10,70%), África (7,60%) y Oceanía (0,10%) (2024) y se espera que durante los próximos años aumente la producción (Frosi et al., 2024).

En América, el maíz (*Zea Mays* L.) se cultiva en grandes cantidades, destacando EE. UU. como principal productor de Norteamérica y de Sudamérica Brasil (64,71%) y Argentina (20,28) (Carvajal & Caviedes, 2019). En Ecuador representa el 2,04% total de su producción, además su relevancia radica en el rol estratégico del cultivo dentro del sistema agroalimentario nacional y la agroindustria (Caviedes, 2019). Según las estadísticas de la FAO, en el año 2022 se cosecharon 362.473 ha con una producción de 1.641.131,23 ton. Por lo tanto, en la actualidad la cosecha del maíz duro es importante en la región costera en provincias como Manabí, Los Ríos y Guayas.

Sin embargo, a pesar de su relevancia productiva y económica el cultivo de maíz enfrenta una problemática en crecimiento asociada a la presencia de cadmio (Cd) en los suelos agrícolas (Aguirre et al., 2022), ocasionando la pérdida de sus características físicas y químicas, es así, como en la provincia de Los Ríos se han detectado concentraciones de metales pesados en cultivos lo que evidencia el uso excesivo de fertilizantes fosfatados y plaguicidas, lo que pone en evidencia la implementación de prácticas agrícolas deficientes que no son sostenibles y que generan un riesgo en la seguridad alimentaria (Barragán et al., 2024).

El cantón Buena Fe se caracteriza por ser un productor de maíz de acuerdo con información del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en su informe de estimación de siembra en el año 2021 en la cual que existe presencia en la época lluviosa y en la época seca (Geoportal del agro ecuatoriano, 2021b, 2021a). Por lo tanto, es importante conocer si existen concentraciones de Cd en el cultivo ya que al ser ingerido mediante el consumo del cereal contaminado este afecta a la salud generando daños severos a los órganos diana (Qu & Zheng, 2024). El objetivo de la investigación tuvo como finalidad evaluar el riesgo toxicológico en granos de maíz (*Zea Mays* L.) que son comercializados en el cantón, mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica en horno de grafito con el fin de identificar los riesgos relacionados con la ingesta diaria de Cd y conocer la afectación a la seguridad pública.

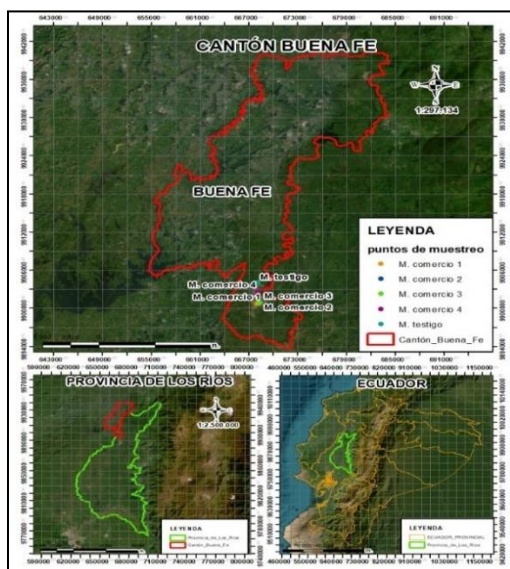
2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio y muestreo

La presente investigación se desarrolló en el cantón Buena Fe ubicado en la provincia de Los Ríos, la cual cuenta con una superficie total de 569 km² y con una población de 74.410 habitantes de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), 2022. De acuerdo con el código alimentario de países de América Latina, para realizar el análisis de muestras de maíz fue necesario que los muestreos sean por triplicado, tomando en cuenta la identidad entre cada una de las muestras, su origen, producto, contenido, lugar, número de lote y otra información importante (Condo & Pernía, 2018; Constantine & Barragán, 2023). Considerando la información anterior se realizaron salidas de reconocimiento y desarrolló una entrevista a los principales comercios que venden granos de maíz en el cantón Buena Fe; posteriormente se tomaron y recolectaron las muestras de manera aleatoria de los granos de maíz por triplicado (n=3) de manera mensual en cada uno de los comercios con la finalidad de comparar las concentraciones de cadmio (Cd) entre cada uno de los establecimientos en estudio durante los meses de enero, febrero y marzo (Barragán, et al., 2024; Jacho-Lugmaña et al., 2025).

Figura 1.

Comerciales con disponibilidad de maíz (*Zea mays* L.) y muestra testigo



Nota: Mapa de disponibilidad de maíz (*Zea mays* L.) y la muestra testigo

2.2. Cuantificación de cadmio en granos de maíz comercializados en el cantón Buena fe, Ecuador.

2.2.1. Método analítico

Con la recolección de las muestras de granos de maíz (*Zea mays* L.) realizadas en el cantón Buena Fe, se envió a un laboratorio certificado por el servicio de acreditación ecuatoriano (SAE) de acuerdo con el cumplimiento de la normativa ISO/IEC 17025, la cual menciona que se debe realizar la cuantificación respectiva de metales tóxicos como el Cd mediante la aplicación de la técnica de espectrometría de absorción atómica según

lo establecido por el "Standard methods 3111B Modificado" (Barragán, et al., 2024; Real et al., 2025).

El equipo que se implementó para realizar el proceso de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) fue Perkin Elmer modelo Analyst 200, equipado con horno de grafito Perkin Elmer modelo HG 900 con auto muestreador AS 800, además se usó lámpara, elemento de aluminio y tubos de grafito (García et al., 2018; Jacho-Lugmaña et al., 2025).

2.2.2. Calibración del instrumento

Se usaron soluciones estándar o patrones de cadmio para preparar sendas de curvas de calibración o de trabajo a partir de soluciones concentradas de 100 mg/L, y como solución blanca para las mediciones se utilizó HNO₃ al 1% v/v, posteriormente se programó el software de espectrofotómetro de absorción atómica modelo Analyst 200 Perkin Elmer, para la lectura de patrones acuosos de la curva de calibración de las muestras de granos de maíz. Posteriormente se procedió con la elaboración de la curva de calibración mediante lectura de los estándares analizados tomando en cuenta que la longitud de onda para el cadmio es de 228,80 nm considerando que las ondas espectrales corresponden a las líneas que proporcionan los valores máximos de absorbancia para una adecuada sensibilidad (Barragán et al., 2024; Constantine y Barragán, 2023).

2.2.3. Tratamiento de las muestras

Para la obtención de datos relacionados con las concentraciones de cadmio en granos de maíz se realizó la digestión, para ello, se homogeneizó el producto con un equipo que no se encuentre contaminado, se verificó que no exista lixiviación en los equipos para así proceder a triturar la muestra en un crisol de porcelana, con ayuda de la balanza analítica se pesaron 2 gramos de muestra triturada que se sometió a temperatura de 550 °C en la mufla durante tres horas, luego se disolvieron las muestras calcinadas en una disolución de 5 ml de HNO₃ al 1%, posteriormente en un matraz aforado de 10 ml se usó la misma concentración química (Barragán et al., 2024; Constantine y Barragán, 2023; Reddy et al., 2021).

2.2.4. Análisis de las muestras

Una vez tratada las muestras se realizó la cuantificación la cual consistió en hacer varios procesos como la nebulización directa en llama de acetileno, por lo tanto, para el análisis en horno de grafito la muestra dispensada en el interior del tubo de grafito se sometió a un programa para incrementar la temperatura hasta conseguir la atomización de la muestra, el proceso normalmente se realiza en 5 etapas las cuales se las detalla en la tabla 1 (Acosta & Pozo, 2013; Constantine & Barragán, 2023).

Tabla 1.

Etapas en el programa de temperaturas en EAA Horno de Grafito.

Etapa	Descripción
Secado	La muestra de grano de maíz fue secada en un tubo de grafito a una temperatura de 100 °C a 150 °C.

Etapa	Descripción
Pirólisis	Se volatilizaron los componentes inorgánicos y orgánicos de la muestra de maíz, dejando el elemento en una matriz menos compleja, además la temperatura no debió superar cuando se da la pérdida del analito.
Atomización	En esta etapa se produjo el vapor atómico del analito y permitió la absorción de energía.
Limpieza	El tubo de grafito se calienta a temperaturas elevadas para que se elimine residuos que se encuentren de la muestra de maíz analizada.
Enfriamiento	El tubo de grafito se lo dejó enfriar a temperatura ambiente y preparo para el siguiente análisis de muestra de maíz.

Nota: (Martínez, 2020).

Además, se debe tomar en cuenta que para muestras que se encuentran por encima de la calibración se realizará diluciones adecuadas con HNO₃ al 1%.

2.2.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos sobre las concentraciones de Cd en granos de maíz (*Zea mays* L.) procedentes de los mercados del cantón Buena Fe fueron analizados para determinar si existen diferencias que sean estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los tratamientos, para ello, previamente se aplicó una prueba de normalidad de Shapiro Will para evaluar la distribución de los datos y como no cumplieron con el supuesto de normalidad se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. El procesamiento estadístico fue realizado con el software INFOSTAT (Balzarini et al., 2008; Barragán et al., 2024; Condo y Pernía, 2018; Shi et al., 2020).

2.2.6. Comparación de las concentraciones de cadmio con la normativa nacional y normativas internacionales

Con el propósito de identificar la presencia de contaminación y su riesgo se emplearon como referencia los estándares máximos aceptables establecidos por regulaciones tanto a nivel nacional como internacional. Esto incluyó la normativa NTE INEN 452:2013, el Codex Alimentarius y la legislación de la Unión Europea, los cuales se presentan detalladamente en la tabla 1. Estos criterios normativos sirvieron como punto de comparación para determinar si las concentraciones de plomo detectadas excedían los límites máximos permitidos o el nivel máximo establecido.

Tabla 2.

Normas internacionales y nacionales de los límites máximos permisibles de cadmio en maíz.

Elemento químico	Grano	Normativa	Cantidad
Cd	Maíz	NTE INEN 187:2013	0,1 mg/kg
		<i>Codex Alimentarius</i>	0,1 mg/kg
		Directrices de la Unión Europea	0,1 mg/kg

Nota: (Codex Alimentarius, 2023; NTE-INEN 187, 2013; UE, 2023)

2.2.7. Riesgo toxicológico por cadmio en granos de cadmio comercializados en el cantón Buena Fe, Ecuador

Dosis de exposición.

Representa la cantidad diaria de toxina que está presente en el medio contaminado y es expresado en unidades de mg/kg/día, permitió conocer qué tan expuesto está el producto al contaminante como es el Cd, para ello, se empleó la siguiente ecuación 1 (Lorenzo et al., 2016):

$$DE = \frac{C \cdot TI}{PC} \cdot FE \cdot FA \quad (1)$$

Donde:

C = Concentración del metal tóxico (mg/kg).

PC = Peso corporal por edades (niños 15 kg y adultos 51 kg) (Barragán et al., 2024) y género (femenino 62 kg y masculino 66 kg) (Álvarez et al., 2020).

TI = Tasa de ingesta admisible para maíz 833 mg/kg en niños y 714,43 mg/kg en adultos.

FE = Factor de exposición es 1 (ecuación 2).

FA = Factor de ajuste 1×10^{-6} .

Referente al factor de exposición (FE) se evaluó en función a la permanencia que tiene en los mercados durante los 7 días de la semana, 52 semanas al año durante 70 años lo que corresponde a la vida promedio de una persona (Barragán et al., 2024; Lorenzo et al., 2016), para eso fue necesario emplear la siguiente ecuación 2:

$$FE = \frac{\text{Frecuencia de exposición}}{\text{Tiempo de exposición}} \quad (2)$$

$$FE = \frac{\left(\frac{\# \text{ días}}{\text{semana}}\right)}{\left(7 \frac{\text{días}}{\text{semana}}\right)} * \frac{\left(\frac{\# \text{ semanas}}{\text{años}}\right)}{\left(52 \frac{\text{semanas}}{\text{año}}\right)} * \frac{\# \text{ años}}{70 \text{ años}}$$

Índice de peligro.

La seguridad de los locales ante la exposición se refleja mediante el índice de peligro (IP), el cual indica que con un IP de 1 o menor es seguro, sin embargo, si el IP aumenta de manera progresiva por encima de 1 la exposición local alcanzaría niveles críticos ocasionando que incremente la probabilidad de efectos adversos en la población (Barragán et al., 2024), por lo que se consideró emplear la ecuación 3:

$$IP = \frac{\text{Dosis de exposición (DE)}}{RfD} \quad (3)$$

Donde:

IP = Índice de peligro.

DE = Dosis de exposición.

RfD = Dosis de referencia para el cadmio con valor de 0,001 mg/kg/día (ATSDR, 2012).

Margen de seguridad.

Es una medida de exposición a sustancias tóxicas del entorno, para el cálculo se utilizó el NOAEL para el cadmio con un valor de y el dato de la dosis de exposición (DE), además se indica que para contaminantes genotóxicos y cancerígenos se considera preocupante un valor menor a 10.000, poco preocupante valores entre 10.001 a 1.000.000 y superiores a 1.000.001 no representa preocupación alguna (Dupouy, 2023), son las condiciones que permitió determinar si existe alguna probabilidad de efectos hacia la población referente al margen de seguridad (Barragán et al., 2024), para aquello se utilizó la ecuación 4 (Barragán et al., 2024):

$$ME = \frac{NOAEL}{DE} \quad (4)$$

Donde:

ME = Margen de exposición.

NOAEL = Nivel sin efecto observable para el cadmio es de 200 mg/kg (U.S. EPA, 1985).

DE = Dosis de exposición.

Ingesta diaria de cadmio.

Para determinar el riesgo toxicológico que ocasiona el Cd fue necesario evaluar la posible aparición de trastornos como el cáncer debido a que el ser humano está expuesto a un medio tóxico durante cierto periodo de tiempo siendo necesario conocer la ingesta diaria de cadmio que se encuentra presente en la dieta alimentaria mediante el consumo de maíz, por lo tanto, el umbral para la ingesta diaria de cadmio es de 0,001 mg/kg/día (USEPA, 2024), entonces fue necesario emplear la ecuación 5 (Sharma et al., 2018):

$$DI = \frac{C \cdot IR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \quad (5)$$

Donde:

C = Concentración de cadmio en mg/kg

IR = Tasa de ingestión del maíz 0,003 kg/día (Sharma et al., 2018).

EF = Frecuencia de exposición 365 días/año.

ED = Duración de la exposición 70 años.

PC = Peso corporal por edades (niños 15 kg y adultos 51 kg) (Barragán et al., 2024) y por género (femenino 62 kg y masculino 66 kg) (Álvarez et al., 2020).

AT = Periodo de tiempo es 25.550 días.

Evaluación de riesgos.

El índice evalúa el riesgo a la salud por la ingesta de alimentos que se encuentran contaminados por cadmio (Cd) (Jan et al., 2010), de tal manera que se identifica si existe un riesgo significativo hacia la salud de la población del cantón Buena Fe, por lo que se consideró umbrales que indiquen cuando no existe ($IRS < 1$) y cuando sí representa un

riesgo para la población de Buena Fe (Barragán et al., 2024), por lo tanto, para su cálculo se empleó la ecuación 6:

$$IRS = \frac{DI}{RfD} \quad (6)$$

Donde:

IRS = Evaluación de riesgos.

DI = Ingesta diaria del metal.

RfD = La dosis de referencia para el Cd un valor de 0,001 mg/kg/día (ATSDR, 2012).

Riesgo de cáncer.

Para determinar el riesgo de cáncer fue necesario considerar umbrales de tal manera que se consideró el valor $CR < 10^{-6}$ cuando no existe amenaza de cáncer, pero si el valor es $CR > 10^{-4}$, representa un riesgo alto y es posible que desarrolle problemas de cáncer, por lo tanto, fue necesario conocer si la población está expuesta a contraer enfermedades relacionada con el cáncer debido a la presencia de cadmio en los granos de maíz (Sharma et al., 2018; Soto et al., 2020), de tal manera que se usó la ecuación 7:

$$CR = DI \cdot SF \quad (7)$$

Donde:

CR = Riesgo de cáncer.

DI = Ingesta diaria del metal

SF = Es el factor de pendiente del cáncer con un valor para el cadmio de 0,006 (Soto et al., 2020).

3. Resultados

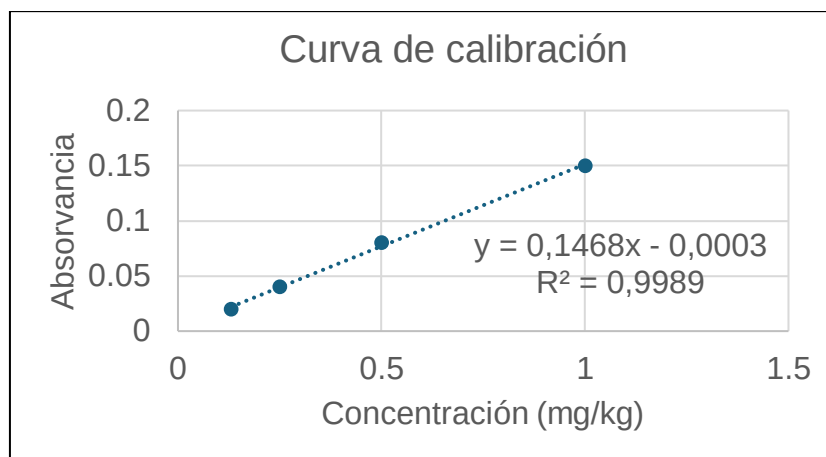
Esta sección puede dividirse por subtítulos. Debe proporcionar una descripción concisa y precisa de los resultados experimentales, por lo general responderá a su hipótesis, objetivo o problema.

3.1. Cuantificación de cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.)

La curva de calibración lineal obtenida para la cuantificación de cadmio empleó mediciones de absorbancia obteniendo así que el coeficiente de correlación expresado como $y = 0,1468x - 0,003$ ($R^2=0,9989$), además indica que existe alta concordancia entre los valores experimentales y predichos por la curva de calibración lo que da a entender que el método que se utilizó fue preciso en la obtención de resultados (figura 2).

Figura 2.

Curva de calibración para detección de Cd.



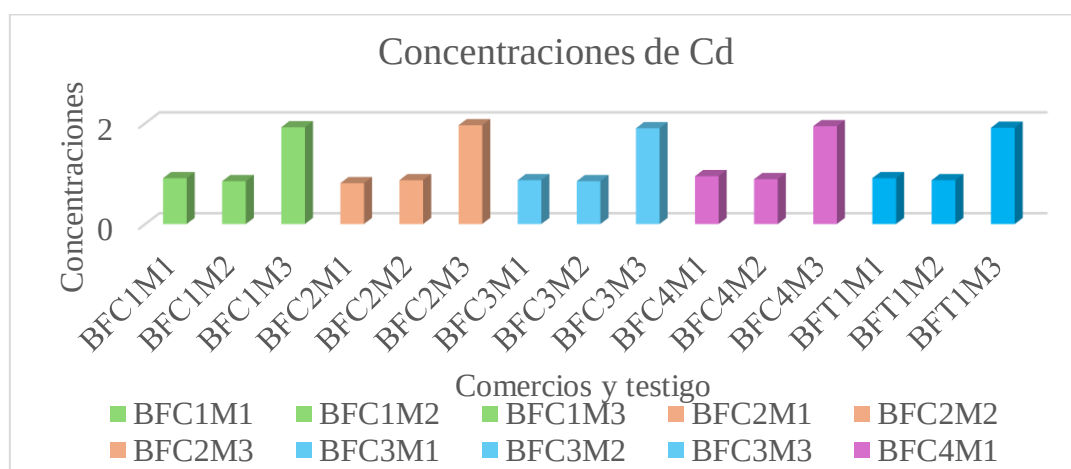
Nota: La figura muestra la relación lineal entre la absorbancia y la concentración (mg/kg) del analito, ajustada mediante regresión lineal ($y = 0,1468x - 0,0003$; $R^2 = 0,9989$). Los puntos representan los valores experimentales utilizados para construir la curva, evidenciando una alta correlación y adecuada respuesta instrumental.

3.2. Concentraciones de cadmio (Cd)

La figura 3 referente a las concentraciones promedio de cadmio que se obtuvieron fueron los siguientes en los diferentes comercios $1,23 \pm 0,60$ (BFC1M), $1,21 \pm 0,65$ (BFC2M), $1,21 \pm 0,60$ (BFC3M), $1,26 \pm 0,59$ (MFC4M) y la muestra testigo la cual es tomada directo desde el cultivo obtuvo un valor de $1,23 \pm 0,59$ (MFTM), por lo tanto, se puede observar que los resultados obtenidos entre cada muestreo reflejan una acumulación de Cd en el cereal tanto en los comercios como en la muestra del cultivo, lo que indica que la presencia de Cd se encuentra en toda la cadena de producción.

Figura 3.

Concentraciones de cadmio en granos de maíz comercializados en el cantón Buena Fe.



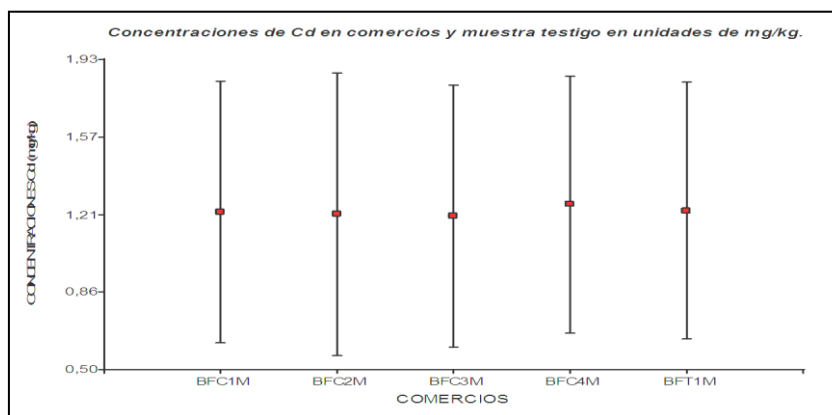
Nota: Se tomaron 15 muestras, para cada comercio se tomó por triplicado, además las concentraciones obtenidas fueron dadas en unidades de mg/kg.

3.3. Análisis estadístico

Con las concentraciones de cadmio en los granos de maíz obtenidos se empleó la prueba de normalidades de Shapiro Wilks donde p valor fue 0,0001 (anexo 31), por lo que se realizó una prueba no paramétrica de Kruskal Wallis donde se observó que no existen diferencias estadísticamente significativas ($H = 1,51$; p valor = 0,82) (figura 4).

Figura 4.

Análisis estadístico empleando la prueba de normalidades y no paramétrica de Kruskal Wallis.



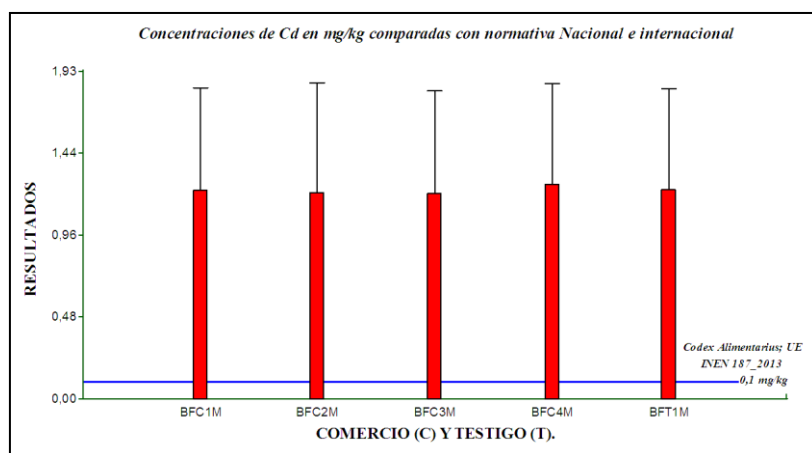
Nota: Las muestras se las etiqueto de la siguiente manera: el cantón Buena Fe (BF), el comercio con su respectivo número (C1, C2, C3, C4) y la testigo (T), además el término muestra está dado por la letra M.

3.4. Comparación de las concentraciones de cadmio con las normativas nacionales e internacionales

El promedio de cadmio en cada una de las muestras para los diferentes comercios y la testigo, tienen concentraciones de Cd por encima de los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius, Las directrices de la Unión Europea y el INEN 187: 2013 que señalan que la presencia de Cd en granos de maíz no debe superar el valor de 0,1 mg/kg, entonces las concentración promedio general presente en el producto es de 1,23 mg/kg, lo que representa un dato elevado que debe ser considerado.

Figura 5.

Concentraciones promedio de Cd comparadas con la Normativa INEN 183:2013, Codex Alimentarius y las Directrices con la Unión Europea.



Nota: Promedio de las concentraciones de cadmio en maíz en el cantón Buena Fe: comercio 1 (BFC1M), comercio 2 (BFC2M), comercio 3 (BFC3M), comercio 4 (BFC4M), testigo (BFTM) representadas con barras de color rojo, y la línea color azul representa el límite máximo permisible del metal en el producto de acuerdo con las normativas Codex Alimentaris, la Directrices de la Unión Europea, y normativa ecuatoriana INEN 183:2013.

3.5. Riesgo toxicológico por cadmio en granos de maíz comercializados en el cantón Buena Fe.

Dosis de exposición.

La tabla 3 referente a la dosis de exposición en relación a la presencia de cadmio (Cd) en los granos de maíz, indica que existe una mayor probabilidad de ingerir cereal contaminado en los niños con valores altos principalmente en el cuarto comercio ($2,05 \times 10^{-5}$ mg/kg/día), en la testigo ($2,01 \times 10^{-5}$ mg/kg/día) y en el primer comercio (2×10^{-5} mg/kg/día), por su parte en los adultos se encontró en el cuarto comercio ($1,77 \times 10^{-5}$ mg/kg/día), los resultados obtenidos señalan que se encuentran dentro del umbral establecido ($0,0036$ mg/kg/día), es necesario considerar que tanto niños como adultos no están expuestos al contaminante ya que los promedios generales para adultos ($1,72 \times 10^{-5}$ mg/kg/día) y niños ($2,01 \times 10^{-5}$ mg/kg/día) no supera el valor referencial ($0,0036$ mg/kg/día), sin embargo, esto puede cambiar si la presencia de Cd en los granos de maíz aumenta existe un alto riesgo.

Tabla 3.

Dosis de exposición del cadmio en granos de maíz que se comercializan en el cantón Buena Fe.

Muestras	Dosis de exposición (DE)				Unidades
	Edades		Género		
	Adultos	Niños	Femenino	Masculino	
BFC1M	0,0000170	0,0000200	0,0000141	0,0000132	mg/kg/día
BFC2M	0,0000169	0,0000198	0,0000139	0,0000131	mg/kg/día
BFC3M	0,0000169	0,0000197	0,0000139	0,0000131	mg/kg/día
BFC4M	0,0000177	0,0000205	0,0000145	0,0000136	mg/kg/día

BFTM	0,0000172	0,0000201	0,0000141	0,0000133	mg/kg/día
Prom. general	0,0000172	0,0000201	0,0000141	0,0000132	mg/kg/día

Nota: Elaborado por los autores

Índice de peligro.

La tabla 4 referente al índice de peligro del cadmio en las diferentes muestras se obtuvo que los adultos tienen un valor de 0,017 mg/kg/día, mientras que los niños tienen un IP de 0,020 mg/kg/día en los diferentes puntos de muestreo, lo que indica que se encuentra dentro del umbral máximo que es <1, además el valor promedio general se encuentra también dentro del rango permitió en adultos es 0,0172 mg/kg/día y en niños 0,0201 mg/kg/día.

Tabla 4.

Índice de peligro del cadmio en maíz para adultos y niños del cantón Buena Fe.

Muestras	Índice de peligro (IP)				Unidades
	Edades		Género		
	Adultos	Niños	Femenino	Masculino	
BFC1M	0,017	0,020	0,014	0,013	mg/kg/día
BFC2M	0,017	0,020	0,014	0,013	mg/kg/día
BFC3M	0,017	0,020	0,014	0,013	mg/kg/día
BFC4M	0,018	0,021	0,014	0,014	mg/kg/día
BFTM	0,017	0,020	0,014	0,013	mg/kg/día
Prom. general	0,0172	0,0201	0,014	0,013	mg/kg/día

Nota: Elaborado por los autores

3.6. Margen de exposición

La tabla 5 referente al margen exposición o seguridad es lo contrario al índice de peligro, ya que mientras más alto sea el valor la población tiene un menor riesgo de exposición, es decir, en este caso los adultos tienen un margen de exposición que no representa ningún tipo preocupación en todos los comercios, , en el caso de los niños el margen de exposición no representa ninguna preocupación, pero es más bajo que el de los adultos, además el promedio general del margen de exposición para adultos y niños es 11.635.225,42 mg/kg/día y 9.979.056,541 mg/kg/día respectivamente, los cuales se encuentran dentro del umbral lo que indica que no existe ningún tipo de preocupación (1.000.000).

Tabla 5.

Margen de exposición que tiene la población del cantón Buena Fe.

Muestras	Margen de exposición (ME)				Unidad
	Edades		Género		
	Adultos	Niños	Femenino	Masculino	
BFC1M	11.638.953	9.982.253	14.149.316	15062175	$\frac{mg}{kg}$ $\frac{día}{día}$
BFC2M	11.766.853	10.091.948	14.304.803	15227693	
BFC3M	11.831.864	10.147.705	14.383.835	15311824	
BFC4M	11.331.044	9.718.172	13.774.995	14663705	
BFTM	11.607.411	9.955.201	14.110.971	15021356	

Muestras	Margen de exposición (ME)				Unidad
	Edades		Género		
	Adultos	Niños	Femenino	Masculino	
Prom. general	11.635.225	9.979.056	14.144.784	15057351	

Nota: Elaborado por los autores

Ingesta diaria de cadmio

La Tabla 6 referente a la dosis de exposición al cadmio (Cd) en granos de maíz, muestra que los valores más altos en niños se registraron en el cuarto comercio ($2,05 \times 10^{-5}$ mg/kg/día), en la testigo ($2,01 \times 10^{-5}$ mg/kg/día) y en el primer comercio ($2,00 \times 10^{-5}$ mg/kg/día). En adultos, el valor más elevado se encontró en el cuarto comercio ($1,77 \times 10^{-5}$ mg/kg/día). Todos los resultados se encuentran por debajo del umbral de referencia establecido (0,0036 mg/kg/día), lo que indica que, en las condiciones actuales, el riesgo de efectos adversos para la salud es bajo. No obstante, un incremento en la concentración de Cd en los granos de maíz podría elevar la dosis de exposición y representar un riesgo significativo para la población.

Tabla 6.

Ingesta diaria de cadmio en granos de maíz comercializados en el cantón Buena Fe.

Muestras	Dosis de ingesta diaria de cadmio (DI)				Unidades
	Edades		Género		
	Adultos	Niños	Femenino	Masculino	
BFC1M	0,0000722	0,0002453	5,93x10 ⁻⁵	5,57 x10 ⁻⁵	mg/kg/día
BFC2M	0,0000713	0,0002427	5,87 x10 ⁻⁵	5,51 x10 ⁻⁵	mg/kg/día
BFC3M	0,0000710	0,0002413	5,83 x10 ⁻⁵	5,48 x10 ⁻⁵	mg/kg/día
BFC4M	0,0000741	0,0002520	6,09 x10 ⁻⁵	5,72 x10 ⁻⁵	mg/kg/día
BFTM	0,0000723	0,0002460	5,95 x10 ⁻⁵	5,59 x10 ⁻⁵	mg/kg/día
Prom. general	0,0000722	0,000245	5,93 x10 ⁻⁵	5,57 x10 ⁻⁵	mg/kg/día

Nota: Elaborado por los autores

3.7. Evaluación de riesgos

En la tabla 7 referente al índice de riesgo humano señala que tanto en los comercios como en la muestra testigo los valores son similares en adulto con un valor relativamente bastante bajo como se observa en la muestra BFC2M y BFC3M (0,071 mg/kg), también el promedio general es de 0,072 mg/kg/día, en los niños el IRS es más alto como en el BFC3M 0,241 mg/kg/día o BFC2M 0,243 mg/kg/día, además su promedio es de 0,245 mg/kg/día, es decir, todos los datos obtenidos se encuentran dentro del valor referencial ($p < 1 = \text{IRS}$).

Tabla 7.

Evaluación de riesgos en adultos y niños.

Muestras	Evaluación de riesgos				Unidades
	Edades		Género		
	Adultos	Niños	Femenino	Masculino	

BFC1M	0,072	0,245	0,059	0,056	mg/kg/día
BFC2M	0,071	0,243	0,059	0,055	mg/kg/día
BFC3M	0,071	0,241	0,058	0,055	mg/kg/día
BFC4M	0,074	0,252	0,061	0,057	mg/kg/día
BFTM	0,072	0,246	0,060	0,056	mg/kg/día
Prom. general	0,072	0,245	0,059	0,056	mg/kg/día

Nota: Elaborado por los autores

3.8. Riesgo de cáncer

La tabla 8 referente al riesgo de cáncer en adultos se obtuvo que valores $<1 \times 10^{-6}$ en todas las muestras como por ejemplo en el comercio BFC2M con un RC $4,28 \times 10^{-7}$ lo indica que son seguros lo que representa la ausencia de un riesgo cancerígeno, en el caso de los niños se reconoce que los valores superan el límite seguro ($<1 \times 10^{-6}$) no representa un problema porque no alcanzan el umbral máximo ($1,47 \times 10^{-6}$ mg/kg/día), esto se evidencia de igual manera en su promedio general.

Tabla 8.

Riesgo cancerígeno para adultos y niños por la ingesta de cadmio en granos de maíz comercializados en el cantón Buena Fe.

Muestras	Riesgo de cáncer (RC)				Unidades
	Edades		Género		
	Adultos	Niños	Femenino	Masculino	
BFC1M	4,33x10 ⁻⁷	1,47x10 ⁻⁶	3,56x10 ⁻⁷	3,35x10 ⁻⁷	mg/kg/día
BFC2M	4,28x10 ⁻⁷	1,46x10 ⁻⁶	3,52x10 ⁻⁷	3,31x10 ⁻⁷	mg/kg/día
BFC3M	4,26x10 ⁻⁷	1,45x10 ⁻⁶	3,50x10 ⁻⁷	3,29x10 ⁻⁷	mg/kg/día
BFC4M	4,45x10 ⁻⁷	1,51x10 ⁻⁶	3,66x10 ⁻⁷	3,44x10 ⁻⁷	mg/kg/día
BFTM	4,34x10 ⁻⁷	1,48x10 ⁻⁶	3,57x10 ⁻⁷	3,35x10 ⁻⁷	mg/kg/día
Prom. general	4,33x10 ⁻⁷	1,47x10 ⁻⁶	3,56x10 ⁻⁷	3,35x10 ⁻⁷	mg/kg/día

Nota: Elaborado por los autores

4. Discusión

Las altas concentraciones de Cd en los granos de maíz es un indicativo de que existe ausencia de prácticas agrícolas sostenibles, estudios similares se han determinado que el uso excesivo de fertilizantes fosfatos que contienen hasta 188 mg/kg de Cd evidencia que se genera problemas de toxicidad debido al aumento del químico en los suelos agrícolas lo que facilita su absorción hacia los cultivos y daño en la calidad del maíz que es comercializado a la población (Khan et al., 2019; Niño et al., 2019).

Las características edáficas de la zona tienen importancia en la biodisponibilidad del Cd en el suelo por la poca presencia de materia orgánica y un pH inferior a 6,5 lo que significa que es ácido facilitando así la acumulación de metal en las raíces de maíz (Pan et al., 2022), también otras fuentes de contaminación como el uso excesivo de pesticidas especialmente los plaguicidas inorgánicos, presencia de lodos residuales y el uso de agua contaminada contribuyen a los niveles elevados de Cd (Woldetsadik et al., 2017), y un factor importante también su alta movilidad y biodisponibilidad la acumulación de

cadmio en las plantas representa un riesgo considerable en la seguridad alimentaria de la población ya que este metal es altamente tóxico (Li et al., 2023).

En regiones agrícolas donde se han detectado exposiciones a metales pesados se encontraron dosis de contaminaciones similares de $1,72 \times 10^{-5}$ mg/kg/día en personas adultas y $2,01 \times 10^{-5}$ mg/kg/día en niños lo que se debe principalmente a la tasa de consumo la cual es relativa en función del peso corporal (Yang et al., 2022), además estudios han demostrado valores similares lo que demuestra que la dosis de exposición (DE) se encuentra relacionado con el factor de exposición o la tasa de ingesta admisible del maíz (El-Hassanin et al., 2020).

Los resultados obtenidos se encuentran por debajo del umbral de riesgo establecido por la USEPA ($IP < 1$) lo que señala que no hay una exposición carcinogénica por el consumo de maíz, siendo así considerada como segura lo cual tiene relación porque estudios similares obtienen un IP similar por debajo del umbral, pero si las concentraciones aumentan el peligro del contaminante sobrepasaría el valor de referencia (Liu et al., 2020); además en otros estudios se ha detectado que los niños son quienes tienen un índice de peligro más alto a comparación de los adultos ya que la tasa de consumo y absorción es mayor (Barragán et al., 2024), por lo tanto, son más vulnerables debido a su desarrollo neurológico por lo que su exposición a bajas dosis de Cd puede causar efectos adversos si no existe una seguridad alimentaria adecuada (Amarloei et al., 2025).

El margen de exposición para niños y adultos es alto lo que no requiere algún tipo de preocupación ya que se encuentra dentro del umbral, esto se debe a que las concentraciones de Cd en granos de maíz tienen un promedio de 1,23 mg/kg a diferencia de estudios desarrollados en Egipto donde el margen de preocupación es mayor ya que se encuentra con valores cercanos a los 10.000 tanto en niños como adultos, esto se debe porque hay elevadas concentraciones de metal pesado, las cuales son generadas principalmente por las actividades antropogénicas (Jean et al., 2018).

Un estudio desarrollado en China el cual su enfoque fue a niños de entre 2 a 17 años obtuvo valores similares de ingesta en la que se determinó que es seguro consumir maíz ya que no existe una preocupación para los niños de las distintas edades, pero si las concentraciones aumentan serán lo más afectados (Chen et al., 2023), en los adultos por su parte la ingesta del Cd es menor (Barragán et al., 2024).

La investigación por Yu et al. (2023) señala que un riesgo alto se debe principalmente a que existe una mayor contaminación ambiental, sin embargo, a comparación de los granos que se comercializan en el cantón Buena Fe los valores obtenidos representan un riesgo, pero es necesario considerar que el límite de preocupación en los niños es 0,245 mg/kg/día el cual es cercano al valor referencial (< 1). En el caso de los adultos tienen valores mucho más bajo que los niños esto sucede porque es el sector de la población que menos consume cereal como el maíz en su dieta diaria (Yang et al., 2022).

En otros países donde la contaminación ambiental es superior debido a las actividades antropogénicas como el agua contaminada o las malas prácticas agrícolas, han hecho que cereales esenciales para la alimentación de las poblaciones se vea afectada, por lo que estudios enfocados en evaluar los riesgos cancerígenos han determinado valores

por encima de su umbral con valores de $3,45 \times 10^{-2}$ mg/kg, en cambio en datos obtenidos no se llega a etapas críticas ya que la contaminación es menor debido a que no existen diversas fuente de contaminación, pero el uso excesivo de fertilizantes fosfatos y agua de baja calidad deterioran el maíz, además en el estudio de Tanzania la producción se encuentra cerca de un vertedero haciendo más propicio la presencia de Cd en el cereal (Sanga & Pius, 2024).

5. Conclusiones

La cuantificación mediante espectrometría de absorción atómica evidencia que las concentraciones promedio de cadmio en granos de maíz ($1,23 \pm 0,61$ mg/kg) superan los límites máximos permisibles (0,1 mg/kg) establecidos por la normativa INEN, el Codex Alimentarius y las directrices de la Unión Europea. Las condiciones actuales el riesgo cancerígeno (RC) para adultos se encuentra dentro del umbral, en el caso de los niños hay un mayor nivel de vulnerabilidad, ya que la ingesta diaria RC se aproximan a niveles críticos, lo que significa que está expuesta a efectos adversos a la salud ya que su peso corporal es menor y hay un mayor consumo proporcional de maíz en la dieta. Actualmente las concentraciones de Cd no representan un riesgo a corto plazo para la población general, pero es una amenaza para la salud pública a largo plazo principalmente para grupos vulnerables.

Referencias Bibliográficas

- Acosta, L. , S., & Pozo, P. , P. (2013). Determinación de cadmio en la almendra de cacao (Theobroma Cacao) de cinco fincas ubicadas en la vía Santo Domingo-Esmeraldas, mediante Espectrofotometría de Absorción atómica con horno de grafito. InfoANALÍTICA, 69–82.
- Aguirre, H., Viteri, P., León, P., Mayía, Y., Cobos, P., Mero, M., & Pernía, B. (2022). Phytotoxicity of cadmium on the germination and initial growth of Ecuadorian maize varieties. Bioagro, 34(1), 3–14. <https://doi.org/10.51372/bioagro341.1>
- Álvarez, C. L. R., Salcedo, M. D. M., Fonseca, P. D. M., Sierra, N. V. H., Icaza, M. J. A., & Arteaga, P. C. L. (2020). Caracterización nutricional y funcional de adultos mayores de una comunidad de Guayaquil, Ecuador. Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo, 3(1), 51–58. <https://doi.org/10.35454/rncm.v3n1.067>
- Amarloei, A., Nourmoradi, H., Nazmara, S., Heidari, M., Mohammadi-Moghadam, F., & Mazloomi, S. (2025). Toxic heavy metals of agricultural products in developing countries and its human health risk assessment: A study from Iran. Heliyon, 11(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40886>
- ATSDR. (2012). Toxicological profile for cadmium. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>
- Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, E., Casanoves; Fernando, Di Rienzo, J., & Robledo, C. (2008). Manual del Usuario InfoStat Software Estadístico. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10346/Manual_INFOSTAT_2008.pdf?sequence=1
- Barragán, M. R. J., Macas, C. M. M., Vargas, M. A. E., & Soto, M. J. E. (2024). Riesgo Toxicológico por plomo en granos de soja (Glycine max L.) comercializados en el

- cantón Quevedo, Ecuador. Ambiente, Comportamiento y Sociedad, 7(1), 1–19. <https://doi.org/10.51343/racs.v7i1.1395>
- Barragán, M. R. J., Sabando, C. C. M., Zapata, V. M. L., Macías, M. A. M., & Coello, B. N. S. (2024). Impacto ambiental por plomo en granos de soja (*Glycine max* L.) comercializados en el cantón Babahoyo, Ecuador. Revista Científica Internacional - Universidad Tecnológica Intercontinental, 11(1), 254–271. <https://doi.org/10.69639/arandu.v11i1.206>
- Barzola, P. , A. Y. (2024). Tipos de biochar en la remediación del cadmio en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en invernadero. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/77488e1e-6ee6-430d-a74e-9f951aef3ae3/content>
- Carvajal, F. E., & Caviedes, G. M. (2019). Análisis comparativo de la eficiencia productiva del maíz en Sudamérica y el mundo en las dos últimas décadas y análisis prospectivo en el corto plazo. ACI Avances En Ciencias e Ingenierías, 11(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1079>
- Caviedes, M. (2019). Producción de semilla de maíz en el Ecuador: retos y oportunidades. ACI Avances En Ciencias e Ingenierías, 11(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1100>
- Chen, Y., Chen, J., Qu, J., Li, T., & Sun, S. (2023). Health risk assessment of dietary cadmium intake in children aged 2–17 years in East China. Environmental Geochemistry and Health, 45(7), 5311–5322. <https://doi.org/10.1007/S10653-023-01562-3/METRICS>
- Codex Alimentarius. (2023). Norma General para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos (Codex STAN 193-1995).
- Condo, F. J., & Pernía, B. (2018). Determinación de niveles de cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.) de la costa y sierra ecuatoriana. Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales. <https://doi.org/https://orcid.org/0000-0002-2476-7279>
- Constantine, M. M. A., & Barragán, M. R. J. (2023). Acumulación de metales pesados en granos de soja (*Glycine max*) provenientes de una zona semi húmeda tropical del Ecuador. (C. E. Zambrano, U. J. Patiño, & M. B. Mora, Eds.; Primera edición). https://sga.uteq.edu.ec/media/evidenciasiv/2024/01/04/evidencia_articulo_202414115341_9Fouz2o.pdf
- Dupouy, E. (2023). Trends in risk assessment of chemical contaminants in food. Present Knowledge in Food Safety: A Risk-Based Approach through the Food Chain, 320–328. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819470-6.00046-9>
- El-Hassanin, A. S., Samak, M. R., Abdel-Rahman, G. N., Abu-Sree, Y. H., & Saleh, E. M. (2020). Risk assessment of human exposure to lead and cadmium in maize grains cultivated in soils irrigated either with low-quality water or freshwater. Toxicology Reports, 7, 10–15. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.11.018>
- Fox, J. P., Capen, J. D., Zhang, W., Ma, X., & Rossi, L. (2020). Effects of cerium oxide nanoparticles and cadmium on corn (*Zea mays* L.) seedlings physiology and root anatomy. NanoImpact, 20, 100264. <https://doi.org/10.1016/J.IMPACT.2020.100264>

- Frosi, I., Balduzzi, A., Colombo, R., Milanese, C., & Papetti, A. (2024). Recovery of polyphenols from corn cob (*Zea mays* L.): Optimization of different green extraction methods and efficiency comparison. *Food and Bioproducts Processing*, 143, 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.11.009>
- Gaiss, S., Amarasiriwardena, D., Alexander, D., & Wu, F. (2019). Tissue level distribution of toxic and essential elements during the germination stage of corn seeds (*Zea mays*, L.) using LA-ICP-MS. *Environmental Pollution*, 252, 657–665. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2019.05.129>
- García, A. A. M., Astiazarán, G. H. F., Andur, C. I., Burgos, H. A., Ruiz, B. E., Canett, R. R., Encinas, S. K., & Gómez, Á. A. (2018). Validación De Un Método Analítico Para Cuantificar Aluminio En Tejidos De Ratas Sprague Dawley Mediante Eaa-Flama Y Eaa-Horno De Grafito. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 34, 517–525. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.03.13>
- Geoportal del agro ecuatoriano. (2021a, August). Estimación de superficie sembrada de los cultivos de arroz, maíz amarillo duro y soya. Primer periodo (época lluviosa). Ministerio de Agricultura y Ganadeía. <https://fliphtml5.com/wtae/bhpb/basic>
- Geoportal del agro ecuatoriano. (2021b, December). Estimación de superficie sembrada de los cultivos de arroz, maíz amarillo duro y soya. Segundo periodo (época seca). Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://fliphtml5.com/wtae/bhpb/basic>
- Hernández, B. , Y., Rodríguez, H. , P., Cartaya, R. , O., Peña, I. , M., & Meriño, H. , Y. (2019). Toxicity of Cadmium in plants and strategies to reduce its effects. Case study: The tomato. *Cultivos Tropicales*, 40(3), 10. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000300010&script=sci_arttext&lng=en
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>
- Jacho-Lugmaña, A. Y., Riofrío-Guevara, M. A., Toaza-Iza, J. X., & Giler-Ormaza, A. M. (2025). Análisis de Plomo, Cadmio y su relación con Macroinvertebrados en los ríos Cutuchi y Pumacunchi de la provincia de Cotopaxi en el año 2025. *Innova Science Journal*, 3(3), 573–586. <https://doi.org/10.63618/OMD/ISJ/V3/N3/102>
- Jan, F. A., Ishaq, M., Khan, S., Ihsanullah, I., Ahmad, I., & Shakirullah, M. (2010). A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir). *Journal of Hazardous Materials*, 179(1–3), 612–621. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.047>
- Jean, J., Sirot, V., Hulin, M., Le Calvez, E., Zinck, J., Noël, L., Vasseur, P., Nessler, F., Gorecki, S., Guérin, T., & Rivière, G. (2018). Dietary exposure to cadmium and health risk assessment in children – Results of the French infant total diet study. *Food and Chemical Toxicology*, 115, 358–364. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.03.031>
- Khan, Z. I., Nisar, A., Ugulu, I., Ahmad, K., Wajid, K., Bashir, H., & Dogan, Y. (2019). Determination of cadmium concentrations of vegetables grown in soil irrigated with

- wastewater: Evaluation of health risk to the public. *Egyptian Journal of Botany*, 59(3), 753–762. <https://doi.org/10.21608/ejbo.2019.9969.1296>
- Li, Y., Rahman, S. U., Qiu, Z., Shahzad, S. M., Nawaz, M. F., Huang, J., Naveed, S., Li, L., Wang, X., & Cheng, H. (2023). Toxic effects of cadmium on the physiological and biochemical attributes of plants, and phytoremediation strategies: A review. *Environmental Pollution*, 325, 121433. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2023.121433>
- Liu, P., Zhang, Y., Feng, N., Zhu, M., & Tian, J. (2020). Potentially toxic element (PTE) levels in maize, soil, and irrigation water and health risks through maize consumption in northern Ningxia, China. *BMC Public Health*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09845-5>
- Lorenzo, M. H., Torres, D. A., Barba, M. E., Ilizaliturri, H. C. A., Martínez, S. R. I., Morales, L. J. J., & Sánchez, M. I. (2016). Estimación de riesgo de exposición a metales pesados por consumo de peces (*Pterygoplichthys* spp.) en infantes de comunidades ribereñas de los ríos Grijalva y Usumacinta, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(2), 153–164. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.02.02>
- Martínez, G. M. (2020). Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA). <http://hdl.handle.net/10251/138418>
- Niño, S. A. G., Zhuang, Z., Ma, X., Fangmeier, A., Li, H., Tang, A., & Liu, X. (2019). Cadmium pollution from phosphate fertilizers in arable soils and crops: An overview. In *Frontiers of Agricultural Science and Engineering* (Vol. 6, Issue 4, pp. 419–430). Higher Education Press Limited Company. <https://doi.org/10.15302/J-FASE-2019273>
- NTE-INEN 187. (2013). Norma Técnica ecuatoriana NTE INEN 187:2013 Tercera revisión.
- Pan, S. F., Ji, X. H., Xie, Y. H., Liu, S. H., Tian, F. X., & Liu, X. L. (2022). Influence of soil properties on cadmium accumulation in vegetables: Thresholds, prediction and pathway models based on big data. *Environmental Pollution*, 304, 119225. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2022.119225>
- Qu, F., & Zheng, W. (2024). Cadmium Exposure: Mechanisms and Pathways of Toxicity and Implications for Human Health. In *Toxics* (Vol. 12, Issue 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/toxics12060388>
- Real, R. C. J., Ronquillo, Q. K. J., Riofrío, G. M. A., & Villaruel, G. J. L. (2025). Determinación de Hg, Cu, Se, Ba, Al, Co, Zn, Cr y su afectación a los sistemas acuáticos de las microcuencas de la provincia de Cotopaxi. *Innova Science Journal*, 3(3), 374–387. <https://doi.org/10.63618/OMD/ISJ/V3/N3/88>
- Reddy, M. A., Shekhar, R., Sahayam, A. C., & Jain, P. (2021). Graphite furnace atomic absorption spectrometric studies for the quantification of trace and ultratrace impurities in the semiconductor grade organic chemicals such as triethylborate, tetraethylorthosilicate and trimethylphosphate. *Spectrochimica Acta - Part B Atomic Spectroscopy*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2021.106184>

- Sanga, V. F., & Pius, C. F. (2024). Heavy metal contamination in soil and food crops and associated human health risks in the vicinity of Iringa Municipal dumpsite, Tanzania. *Discover Environment*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00137-y>
- Sharma, S., Nagpal, A. K., & Kaur, I. (2018). Heavy metal contamination in soil, food crops and associated health risks for residents of Ropar wetland, Punjab, India and its environs. *Food Chemistry*, 255, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.037>
- Shi, Z., Carey, M., Meharg, C., Williams, P. N., Signes-Pastor, A. J., Triwardhani, E. A., Pandiangan, F. I., Campbell, K., Elliott, C., Marwa, E. M., Jiu Jin, X., Gomes Farias, J., Nicoloso, F. T., De Silva, P. M. C. S., Lu, Y., Norton, G., Adomako, E., Green, A. J., Moreno, J. E., ... Meharg, A. A. (2020). Rice Grain Cadmium Concentrations in the Global Supply-Chain. *Exposure and Health*, 12(4), 869–876. <https://doi.org/10.1007/s12403-020-00349-6>
- Soto, B. M., Rodriguez, A. L., Olivera, M., Arostegui, S. V., Colina, N. C., & Garate, Q. J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11, 49–59. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- U.S. EPA. (1985). Cadmium (CASRN 7440-43-9) | IRIS | US EPA.
- UE. (2023). Reglamento (UE) 2023/915 de la Comisión relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos.
- USEPA. (2024). Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos | EPA de Estados Unidos. <https://www.epa.gov/>
- Woldetsadik, D., Drechsel, P., Keraita, B., Itanna, F., & Gebrekidan, H. (2017). Heavy metal accumulation and health risk assessment in wastewater-irrigated urban vegetable farming sites of Addis Ababa, Ethiopia. *International Journal of Food Contamination*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s40550-017-0053-y>
- Yang, X., Cheng, B., Yi, G., Zhang, H., & Liu, L. (2022). Heavy metal contamination assessment and probabilistic health risks in soil and maize near coal mines. *Frontiers in Public Health*. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1004579>
- Yu, S., Pan, X. D., & Han, J. L. (2023). Toxic Elements in Beans from Zhejiang, Southeast China: Distribution and Probabilistic Health Risk Assessment. *Foods*, 12(17). <https://doi.org/10.3390/foods12173300>
- Zhang, Z., Yuan, L., Qi, S., & Yin, X. (2019). The threshold effect between the soil bioavailable molar Se:Cd ratio and the accumulation of Cd in corn (*Zea mays* L.) from natural Se-Cd rich soils. *Science of the Total Environment*, 688, 1228–1235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.331>

CONFLICTO DE INTERESES

“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.