UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

Ciencias Químicas

Determinación de cadmio y su impacto ambiental en granos de maíz (*zea mays l.*)Comercializados en el cantón Quevedo, Ecuador.

Determination of cadmium and its environmental impact in corn grains (zea mays l.) Marketed in cantón Quevedo, Ecuador.

Determinação do cádmio e do seu impacto ambiental em grãos de milho (zea mays l.) Comercializados em Quevedo cantão, Equador.

Autor

Roberto Johan Barragan Monrroy *
roberto.barragan2014@uteq.edu.ec

Ariana Solange Montero Pincay
amonterop@uteq.edu.ec

Carla Maria Sabando Cedeño
csabandoc2@uteq.edu.ec

Betty Beatriz González Osorio
bgonzalez@uteq.edu.ec

Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Ecuador.

* Autor para correspondencia.

Editor Académico
Gretty Rosario Ettiene

Citación sugerida: Barragan Monrroy, R. J., Montero Pincay, A. S., Sabando Cedeño, C. M. y González Osorio, B. B. (2025). Determinación de cadmio y su impacto ambiental en granos de maíz (zea mays l.) Comercializados en el cantón Quevedo, Ecuador. *Revista Bases de la Ciencia, 10*(1), 01-13. DOI: https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v10i1.6895

Recibido: 07/08/2024
Aceptado: 29/11/2024
Publicado: 01/01/2025

Resumen

El maíz tiene tiene la capacidad de absorber y transportar contaminantes nocivos a través de sus tejidos. El presente estudio tuvo como objetivo determinar las concentraciones de cadmio en los granos de maíz y evaluar su impacto ambiental en el cantón Quevedo, Ecuador. Para lograrlo, se identificaron los principales mercados del cantón (M1M, M2M, M3M, M4M) y se seleccionó un área de cultivo para obtener una muestra testigo (T1M). Las muestras fueron recolectadas por triplicado durante tres meses consecutivos y enviadas a un laboratorio certificado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano; las mismas fueron analizadas bajo espectrometría de absorción atómica con horno de grafito. En el laboratorio, se aplicó la técnica de espectrometría de absorción atómica con horno de grafito, siguiendo el método "Standard Methods 3111B Modificado". Las concentraciones obtenidas se compararon con los estándares nacionales e internacionales (NTE: INEN 187:2013, Unión Europea y Codex Alimentarius) para verificar su conformidad con los límites máximos permitidos y determinar si representaban riesgos para la salud de la población. Finalmente, se calculó el impacto ambiental utilizando una ecuación científica validada definida como: (Impacto ambiental= P_A-P_(NC)) . Los resultados revelaron una concentración media de cadmio de 1,56 mg/kg en los granos de maíz, superior a los parámetros normativos, indicando contaminación y posibles riesgos para la salud. Además, el impacto ambiental del cadmio (+1,46) sugirió un daño significativo al entorno, afectando especialmente a los granos de maíz comercializados en el cantón Quevedo.

Palabras clave: cadena alimentaria, cultivos alimentarios, metales tóxicos, salud humana

Abstract

Maize has the capacity to absorb and transport harmful contaminants through its tissues. The objective of this study was to determine cadmium concentrations in corn kernels and evaluate its environmental impact in the canton of Quevedo, Ecuador. To achieve this, the main markets of the canton were identified (M1M, M2M, M3M, M4M) and a cultivation area was selected to obtain a control sample (T1M). The samples were collected in triplicate for three consecutive months and sent to a laboratory certified by the Ecuadorian Accreditation Service; they were analyzed under atomic absorption spectrometry with a graphite furnace. In the laboratory, the graphite furnace atomic absorption spectrometry technique was applied, following the "Standard Methods 3111B Modified" method. The concentrations obtained were compared with national and international standards (NTE: INEN 187:2013, European Union and Codex Alimentarius) to verify their compliance with the maximum allowable limits and determine whether they represented health risks to the population. Finally, the environmental impact was calculated using a validated scientific equation defined as: (Impacto ambiental= P_A-P_(NC)). The results revealed an average cadmium concentration of 1.56 mg/kg in corn kernels, higher than the normative parameters, indicating contamination and possible health risks. In addition, the environmental impact of cadmium (+1.46) suggested significant damage to the environment, especially affecting corn kernels marketed in the canton of Quevedo.

Keywords: food chain, food crops, toxic metals, human health.

Resumo

O milho (Zea mays L.) tem a capacidade de absorver e transportar contaminantes nocivos através dos seus tecidos. O presente estudo teve como objetivo determinar as concentrações de cádmio em grãos de milho e avaliar o seu impacto ambiental no cantão de Quevedo, Equador. Para tal, foram identificados os principais mercados do cantão (M1M, M2M, M3M, M4M) e foi selecionada uma área de cultivo para obter uma amostra de controlo (T1M). As amostras foram recolhidas em triplicado durante três meses consecutivos e enviadas para um laboratório certificado pelo Serviço de Acreditação do Equador; foram analisadas por espetrometria de absorção atómica com forno de grafite. No laboratório, foi aplicada a técnica de espetrometria de absorção atómica com forno de grafite, seguindo o método "Standard Methods 3111B Modified". As concentrações obtidas foram comparadas com as normas nacionais e internacionais (NTE: INEN 187:2013, União Europeia e Codex Alimentarius) para verificar a sua conformidade com os limites máximos permitidos e para determinar se representavam riscos para a saúde da população. Por fim, o impacto ambiental foi calculado utilizando uma equação científica validada definida como: (Impacto ambiental= P_A-P_(NC)). Os resultados revelaram uma concentração média de cádmio de 1,56 mg/kg nos grãos de milho, acima dos parâmetros normativos, indicando contaminação e possíveis riscos para a saúde. Além disso, o impacto ambiental do cádmio (+1,46) sugeriu danos significativos para o ambiente, afectando especialmente os grãos de milho comercializados no cantão de Quevedo.

Palavras chave: cadeia alimentar, culturas alimentares, metais tóxicos, saúde humana.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

INTRODUCCIÓN

Una de las principales preocupaciones del siglo XXI es la contaminación de suelos, especialmente por la presencia de metales pesados, que representa una amenaza para la seguridad alimentaria y la salud humana (Condo y Pernía, 2018; Cuevas y Walter, 2004; Ruiz y Armienta, 2012). Esta contaminación se debe principalmente al uso de fertilizantes que contienen fósforo, además, contribuyen a este problema el uso agua contaminada para riego y la gestión inadecuada de desechos industriales. Los efectos nocivos en la salud humana derivados del consumo de alimentos contaminados con estas sustancias están ampliamente documentados; entre los metales tóxicos más comunes en los alimentos, el cadmio destaca por ser altamente perjudicial (García *et al*., 2020; Maroneze *et al*., 2014). El maíz (Zea mays L.) posee la capacidad de absorber cadmio y translocarlo hacia diferentes órganos de la planta, y esta exposición a niveles tóxicos de cadmio puede ocurrir tanto al ingerir los granos directamente como al consumir productos derivados de animales que se alimentan principalmente de maíz (Condo y Pernía, 2018). Este proceso plantea preocupaciones sobre la transferencia de cadmio al cuerpo humano a través de la cadena alimentaria (Castellari et al., 2015), afectando potencialmente la salud pública (López *et al*., 2017).

En 2022, el maíz duro se cultivó en varias regiones de Ecuador, con hasta dos ciclos anuales. Según los datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2022), la provincia de Los Ríos concentró el 42,3% de la producción nacional de maíz duro. Esto se reflejó en una superficie plantada de 372,581 hectáreas y una superficie cosechada de 362,473 hectáreas de maíz (Zea mays L.). Estas cifras subrayan la relevancia del cultivo de maíz para cantones como Quevedo en la provincia y destacan la necesidad de evaluar la presencia de cadmio (Cd) en los granos producidos.

Para la cuantificación del cadmio en granos de maíz, se han empleado varias técnicas, entre estas, la espectrometría de absorción atómica con horno de grafito destaca como la opción más recomendada, puesto que permite la detección precisa de bajos niveles de elementos metálicos, garantizando resultados confiables (Narváez, 2020; Núñez, 2019; Remache y Vargas, 2020).

El objetivo de la presente investigación fue determinar las concentraciones de cadmio y su impacto ambiental en granos de maíz (Zea mays L.) comercializados en el cantón Quevedo. De esta manera se podrá promover tanto el mejoramiento de la calidad de los alimentos y contribuir a la prevención de enfermedades asociadas con la exposición al cadmio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La ubicación geográfica de los puntos de muestreo utilizados en el estudio. En el mapa se destacan los mercados del cantón Quevedo, que fueron los lugares de recolección de las muestras de granos de maíz. Además, se indica el sitio del cultivo de maíz de donde se obtuvieron las muestras testigo. Es relevante señalar que los cuatro puntos de muestreo correspondientes a los mercados están situados en el área urbana de la parroquia Quevedo, mientras que el cultivo de maíz se ubica en la zona rural del cantón, concretamente en la Parroquia San Carlos. Esta distribución geográfica permite una comparación integral entre las muestras comerciales y las provenientes directamente del campo, facilitando una evaluación más precisa de la contaminación en diferentes contextos (Figura 1).

CC BY NC ND

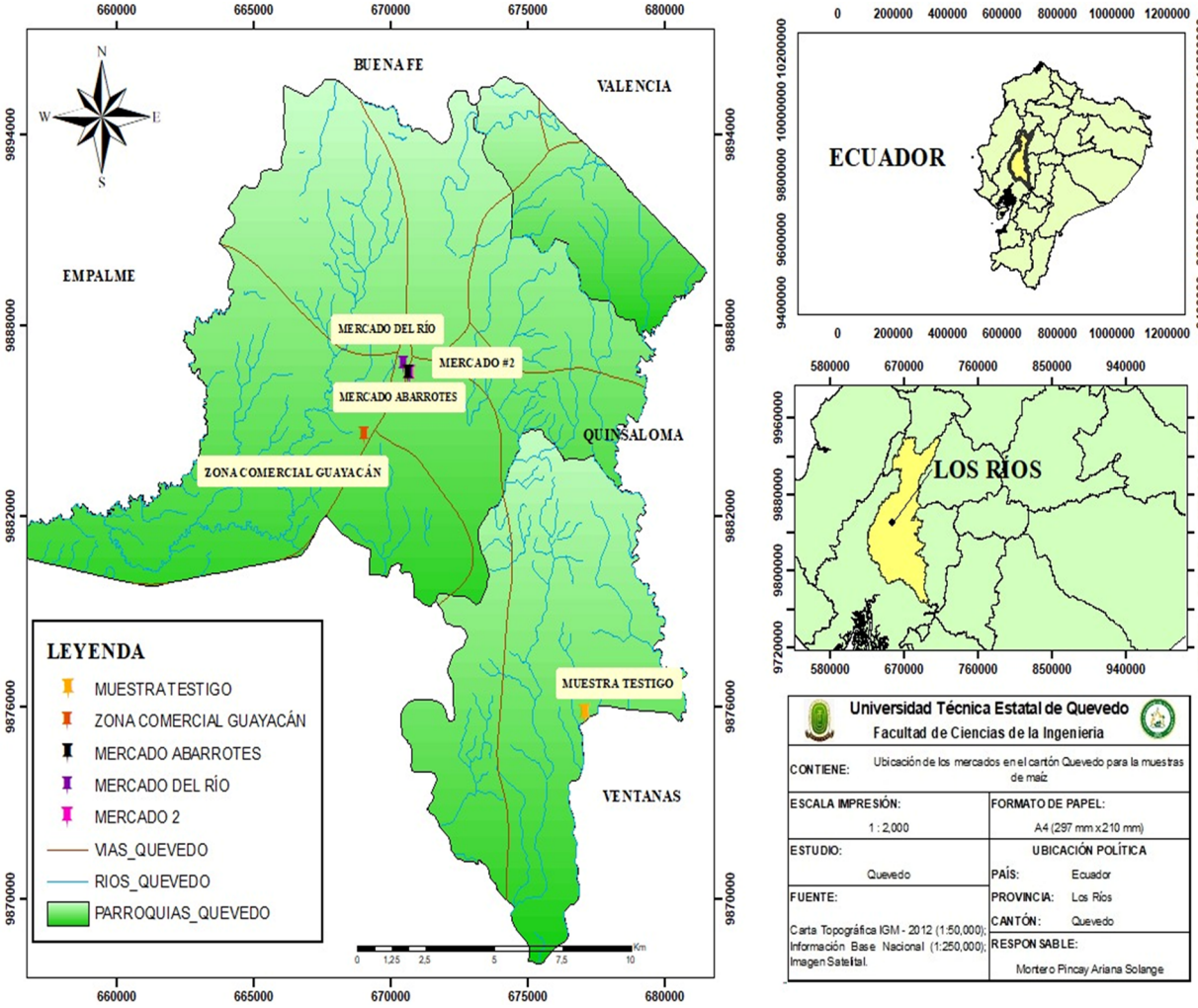

Figura 1. Ubicación del área de estudio.

Determinación de las concentraciones de cadmio

Muestreos

De acuerdo con las regulaciones alimentarias de varios países de América Latina, se sugiere que las muestras de alimentos se analicen por duplicado o triplicado, manteniendo la consistencia entre cada una de las muestras en términos de su origen, producto, contenido, ubicación, número de lote, y otros factores relevantes (Alonso y Poveda, 2008). El duplicado implica la generación de réplicas idénticas a la muestra testigo, mientras que la triplicación conlleva a la obtención de tres repeticiones que determinan el enfoque metodológico y el objetivo de atenuar la variabilidad inherente al proceso de muestreo y análisis que fortalezcan la robustez y validez de los resultados obtenidos (Férez, 2014).

Para este estudio, se realizaron salidas de reconocimiento a los mercados del cantón Quevedo, identificando cuatro principales mercados con disponibilidad de granos de maíz: Mercado del Río (M1M), Mercado 2 (M2M), Mercado Abarrotes (M3M) y Plaza Comercial Guayacán (M4M). Además, se tomó una muestra testigo del cultivo de maíz (T1M), que sirvió como referencia para establecer estándares, puntos de comparación y precisión de resultados aleatorios.

ISSN 2588-0764 | **Vol. 10. Núm. 1 (01-13): Enero-Abril, 2025** | **DOI:** 10.33936/revbasdelaciencia.v10i1.6895

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

El muestreo se llevó a cabo por tres repeticiones (n=3) mensualmente en cada uno de los mercados y en el cultivo, con el fin de comparar las concentraciones de cadmio en 15 muestras de maíz, utilizando el método analítico "Standard Methods 3111B Modificado" (Aoac International, 2023).

Método analítico

Para asegurar la precisión en la cuantificación de cadmio en granos de maíz, las muestras recolectadas fueron enviadas al laboratorio "SSV Consulting", que cuenta con acreditación del Servicio de Acreditación Ecuatoriano conforme a la norma ISO/IEC 17025. Este laboratorio garantiza la validez y fiabilidad de los resultados a través de rigurosos estándares de calidad. El análisis se realizó utilizando la técnica de espectrometría de absorción atómica con horno de grafito, según el método "Standard Methods 3111B Modificado". Este enfoque metodológico proporciona un marco robusto para obtener resultados consistentes y comparables, alineados con las prácticas internacionales en la determinación de metales traza (Barragán Monrroy *et al*., 2022).

Tratamiento de las muestras

Se pesó una muestra de 2,0 g de granos de maíz (tamizada a -200 malla) y se colocó en un vaso de precipitados de vidrio de 250 mL. Se añadió 80 ml de ácido nítrico (HNO3) en una proporción de 1:1 y se cubrió el vaso con una tapa de vidrio.

Este vaso se colocó en una placa calefactora y se calentó a ebullición suave durante un período de 2 a 2,5 horas. Tras este tiempo, se retiró la tapa y se permitió que la solución se evaporara lentamente hasta obtener una masa espesa. Posteriormente, se incorporaron 10 mL de una solución de HNO3 al 5% y se calentó durante 5 minutos antes de retirar del calor y enfriar. Finalmente, el residuo se transfirió a tubos de ensayo con tapón de vidrio, ajustando el volumen final a 20 mL con agua desmineralizada.

Calibración del instrumento

Se prepararon soluciones estándar de cadmio para establecer curvas de calibración. Estas curvas se prepararon a partir de soluciones concentradas 100 $mg.L^{-1}$ de nitrato de cadmio, así mismo, se empleó HNO_3 al 1% v/v como solución de referencia para las mediciones. Una vez completada esta etapa, se procedió a la programación del método utilizando el software del espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 200, de Perkin Elmer®. Este programa permitió la lectura de los patrones estándares acuosos de la curva de calibración, así como de las muestras preparadas a partir de los granos de maíz.

Análisis de las muestras

La solución se dejó reposar sin perturbaciones durante toda la noche para permitir la sedimentación de las partículas sólidas. Posteriormente, se extrajo un volumen adecuado del sobrenadante utilizando una autopipeta para su análisis por GFAAS (Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito). Este análisis se realizó de manera automatizada mediante el software del equipo, que se basó en una curva de calibración previamente establecida. Para las muestras cuyos resultados se encontraban fuera del rango de calibración, se realizaron diluciones utilizando una solución de ácido nítrico al 1%.

CC BY NC ND

Tratamiento de los datos

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) en las concentraciones de cadmio procedentes de los distintos mercados y cultivo de maíz, se realizó una prueba de normalidades (Shapiro Wilks) y posteriormente un análisis de varianza (ANOVA) junto con una comparación múltiple de Tukey, empleando el software estadístico INFOSTAT.

Comparación de las concentraciones con normativas nacionales e internacionales

Las concentraciones de cadmio detectadas se compararon con los niveles establecidos por la normativa nacional (NTE INEN 452:2013) y las normativas internacionales (Codex Alimentarius y Unión Europea). Esta comparación permitió evaluar no solo el grado de contaminación, sino también la existencia de riesgo para la salud pública. A continuación, se detallan los niveles máximos permitidos y los límites establecidos por dichas normativas (Tabla 1).

Tabla 1. Niveles máximos y límites máximos permisibles establecidos por las normativas nacionales e internacionales.

Nivel máximo y límites máximos permisibles establecidos		
Normativa	**Cantidad**	**Unidad**
NTE INEN 187:2013	0,1	(mg/kg)
Codex Alimentarius	0,1	(mg/kg)
Unión Europea	0,1	(mg/kg)

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normas Técnicas (2013); *Codex Alimentarius Commission* (2022); *European Commission* (2021).

Impacto ambiental generado por el cadmio en los granos de maíz comercializados en el cantón Quevedo, Ecuador

Para determinar el impacto ambiental en las concentraciones de cadmio presentes en los granos de maíz comercializados en el cantón Quevedo, se tomó como base la (ecuación 1) establecida por (Arada Pérez *et al*., 2018).

(Impacto ambiental= P_A-P_(NC)) (1)

Donde:

PA: valor del parámetro determinado en las muestras de maíz

PNC: valor del parámetro reportado en la NTE INEN 452:2013, Codex Alimentarius y Unión Europea.

Cuando los valores de los parámetros de caracterización son mayores a los límites permisibles normados, el impacto es positivo (+) y representa un daño ambiental severo (Arada Pérez *et al*., 2018).

Para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) en el impacto ambiental, se realizó una prueba de normalidades (Shapiro Wilks) y posteriormente un análisis de varianza (ANOVA) seguida de una comparación múltiple de Tukey empleando el software INFOSTAT.

PA: valor del parámetro determinado en las muestras de maíz

PNC: valor del parámetro reportado en la NTE INEN 452:2013, Codex Alimentarius y Unión Europea.

Cuando los valores de los parámetros de caracterización son mayores a los límites permisibles normados, el impacto es positivo (+) y representa un daño ambiental severo (Arada Pérez *et al*., 2018).

Para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) en el impacto ambiental, se realizó una prueba de normalidades (Shapiro Wilks) y posteriormente un análisis de varianza (ANOVA) seguida de una comparación múltiple de Tukey empleando el software INFOSTAT.

ISSN 2588-0764 | **Vol. 10. Núm. 1 (01-13): Enero-Abril, 2025** | **DOI:** 10.33936/revbasdelaciencia.v10i1.6895

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Curva de calibración

Para la cuantificación de cadmio, la curva de calibración lineal tuvo un coeficiente de correlación de y= 0,054x + 0,0026 (R=0,9980) y con un R^2 de 0,9966 como se muestra en la figura 2. El coeficiente de correlación sugiere una excelente concordancia entre los valores experimentales y los calculados por la curva de calibración, destacando la precisión del método utilizado. El límite de detección fue de 0,01 mg/kg y el límite de cuantificación de 0,02 mg/kg.

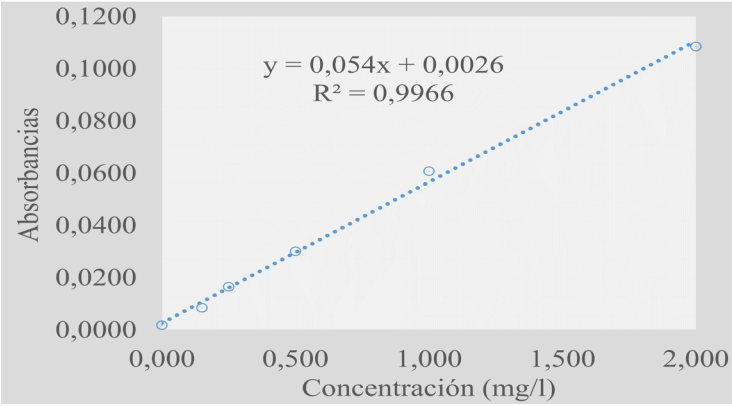

Figura 2. Curva de calibración de cadmio.

Las concentraciones medias de cadmio en granos de maíz fueron; 1,50±0,09 mg/kg Mercado del Río (M1M), 1,52±0,13 mg/kg Mercado 2 (M2M), 1,59±0,10 mg/kg Mercado Abarrotes (M3M), 1,72±0,12 mg/kg Plaza Comercial Guayacán (M4M) y 1,46±0,05 mg/kg muestras testigos del cultivo de maíz (T1M). Se identificaron las mayores concentraciones en las muestras de la Plaza Comercial Guayacán, mientras que las concentraciones más bajas se registraron en las muestras testigos recolectadas directamente del cultivo de maíz. Los datos detallados se presentan en la figura 3.

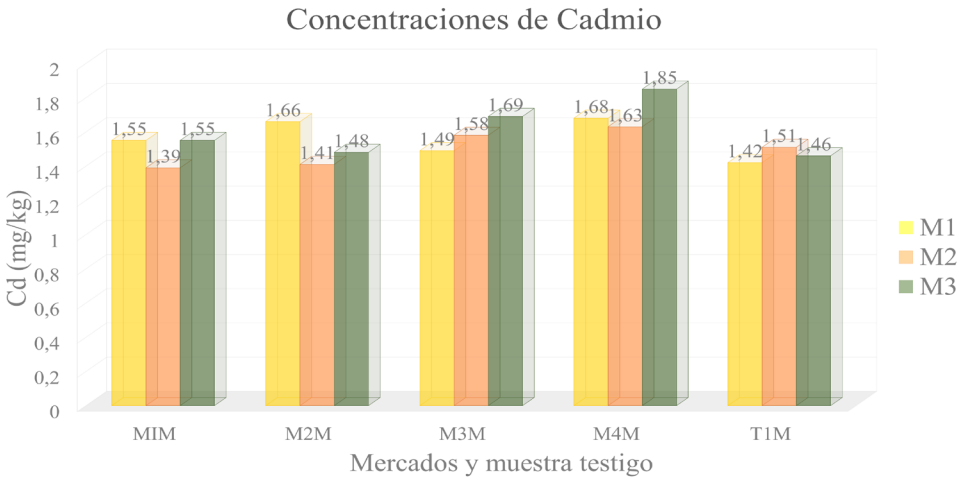

Figura 3. Concentraciones de cadmio (mg/kg) en granos de maíz.

CC BY NC ND

Análisis de datos

Luego de aplicar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, se confirmó que los datos siguen una distribución normal, dado que p=0,5141. El análisis de varianza (ANOVA) junto con la comparación múltiple de Tukey reveló que no hay diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones medias de cadmio entre los distintos mercados y la muestra testigo, con F=0.8 y p=0.0679. Por lo tanto, todas las medias comparten la misma categoría de letra "A" (Figura 4).

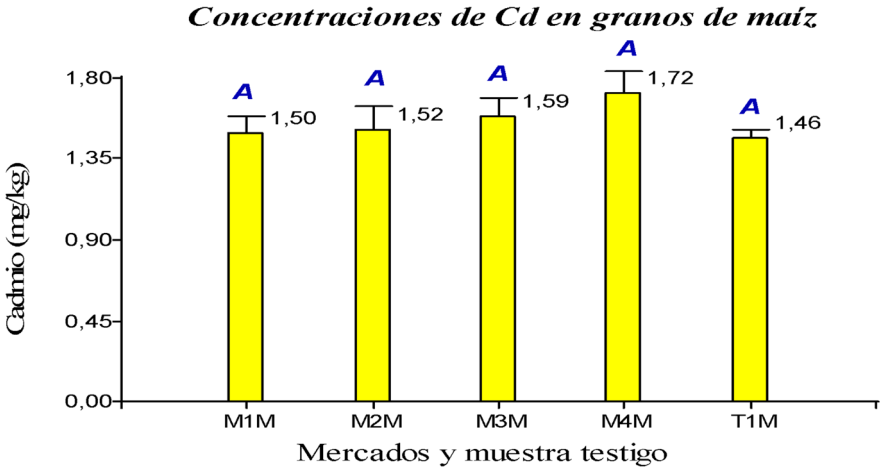

Figura 4. Análisis estadístico de las concentraciones de cadmio en granos de maíz

Las concentraciones de cadmio encontradas en las muestras de maíz de Quevedo, pueden deberse a varios factores, por ejemplo, el uso de fertilizantes y plaguicidas que contienen metales tóxicos, lo que representa una fuente significativa de cadmio en el maíz. Estos productos pueden contener trazas de cadmio que se acumulan en el suelo y son absorbidas por las plantas durante su crecimiento. Según un estudio, realizado por Aguirre *et al*. (2022), los fertilizantes fosfatados, en particular, suelen tener concentraciones notables de cadmio, lo que incrementa la posibilidad de contaminación del cultivo. Además, los cultivos pueden contaminarse debido a la presencia de cadmio en el suelo, derivado de actividades industriales y agrícolas previas. La contaminación del suelo por metales pesados es un problema bien documentado, y el cadmio es uno de los metales más preocupantes debido a su movilidad y toxicidad (Retamal Salgado, 2017).

El uso de agua contaminada con cadmio para el riego también contribuye a la contaminación de los cultivos. En muchas regiones, el agua utilizada para riego puede contener metales pesados debido a la contaminación industrial o el uso de aguas residuales tratadas insuficientemente. Un estudio destaca que el agua de riego contaminada es una fuente directa de cadmio para los cultivos, incrementando su concentración en las plantas irrigadas (Gallardo *et al*., 2021). Por otro lado, considerando que las concentraciones medias de cadmio en las muestras de maíz recolectadas de los mercados son mayores que en las recolectadas directamente del cultivo (muestras testigo), esto puede explicarse por varias razones.En primer lugar, las muestras de los mercados están más expuestas a la contaminación ambiental urbana, particularmente a la contaminación del aire causada por el tráfico y las actividades industriales, que son fuentes comunes de cadmio en el ambiente. Adicionalmente, el manejo y almacenamiento del maíz en los mercados probablemente contribuyen a la acumulación de cadmio debido a prácticas inadecuadas y a la presencia de contaminantes en las instalaciones de almacenamiento (Zhuang *et al*., 2021).

Otro aspecto importante es que, durante el transporte, el maíz puede estar expuesto a fuentes adicionales de cadmio. Según estudios, las emisiones de los vehículos, especialmente en zonas urbanas, son una fuente significativa de contaminación por cadmio (Chancay-Alcívar *et al*., 2022). Dentro de este contexto, el cadmio presente en el aire puede depositarse sobre los granos de maíz durante el transporte, aumentando así su concentración. Así mismo, las condiciones y los materiales utilizados en el transporte pueden contribuir a la contaminación. Por ejemplo, el uso de vehículos y contenedores que no cumplen con estándares adecuados de limpieza y protección puede llevar a la acumulación de cadmio en los granos. Según Montiel-Díaz. (2021) la presencia de metales pesados en productos alimenticios resalta que el manejo y almacenamiento inadecuado durante el transporte es un factor crítico en la contaminación.

ISSN 2588-0764 | **Vol. 10. Núm. 1 (01-13): Enero-Abril, 2025** | **DOI:** 10.33936/revbasdelaciencia.v10i1.6895

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

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

Las concentraciones de cadmio en las muestras de maíz comercializadas en el cantón Quevedo exceden los límites establecidos tanto por la normativa nacional (NTE INEN 187:2013) como en las normativas internacionales (legislación de la Unión Europea y Codex Alimentarius). Estas normativas fijan un límite de 0,1 mg/kg de cadmio en maíz, mientras que las concentraciones medias detectadas oscilan entre 1,50 y 1,72 mg/kg. Estos resultados indican no solo una significativa contaminación del maíz, sino también un alto riesgo para la salud de los consumidores. Estos resultados se muestran en la figura 5.

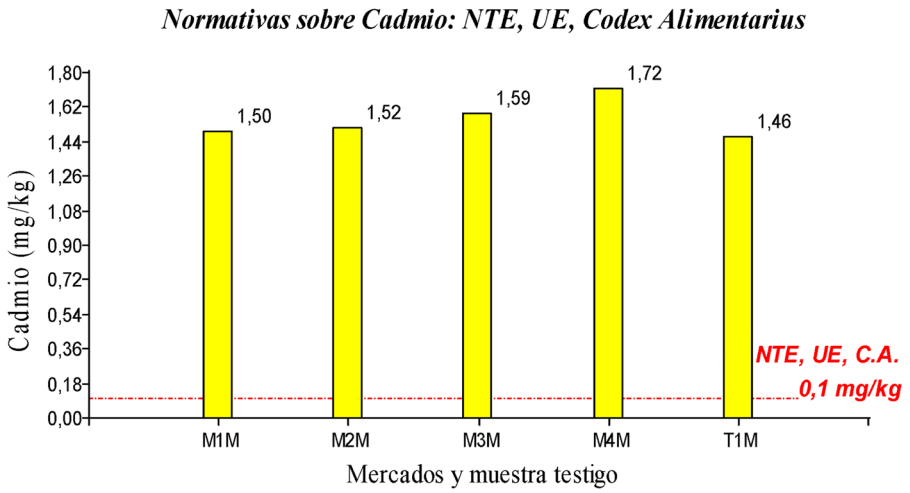

Figura 5. Concentraciones de cadmio en granos de maíz comercializados en el cantón Quevedo comparadas con el parámetro reportado por las normativas (0,1 mg/kg),

En la figura 6 se presenta la concentración media de cadmio en los granos de maíz comercializados en los mercados de Quevedo, la cual es de 1,56 mg/kg. Este valor excede significativamente el límite normativo de 0,1 mg/kg establecido por las autoridades sanitarias, siendo 15 veces mayor que el permitido. Esta elevada concentración de cadmio no solo indica contaminación, sino que también representa un grave riesgo para la salud pública.

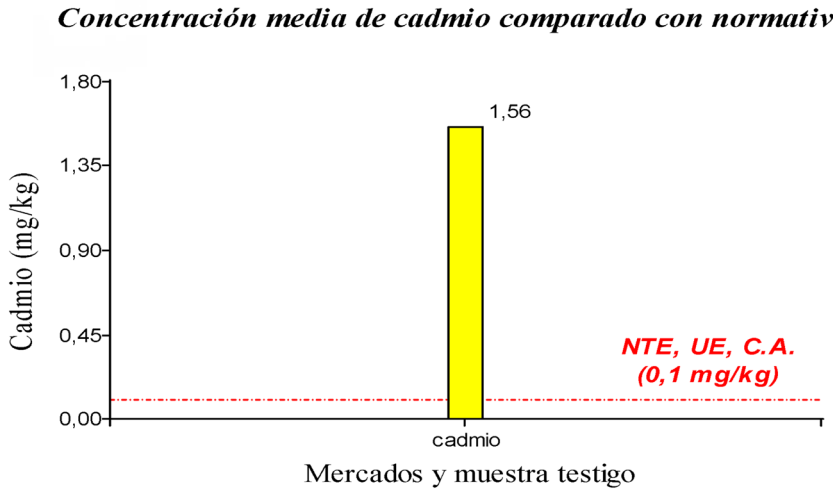

Figura 6. Concentración media de cadmio en granos de maíz comercializados en el cantón Quevedo.

CC BY NC ND

Según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), la ingesta diaria de cadmio en Europa excede los valores máximos recomendados debido a la presencia de este metal en alimentos cultivados en suelos contaminados (Chancay-Alcívar *et al*., 2022). En la presente investigación, los resultados muestran una situación aún más crítica, puesto que la concentración de cadmio obtenida en los granos de maíz comercializados en Quevedo es significativamente superior a los límites establecidos, aumentando así la probabilidad de efectos adversos en la salud de los consumidores. La alta concentración de cadmio determinada en este estudio refleja la urgente necesidad de implementar políticas más estrictas y controles de calidad para mitigar este problema y proteger la salud pública.

El cadmio es un metal que presenta serios riesgos para la salud, debido a que es capaz de causar defectos congénitos en los fetos y contribuir al desarrollo de cáncer. La exposición prolongada a concentraciones de cadmio que exceden los límites permitidos por las normativas puede ser extremadamente dañina para la salud humana. Una de las principales fuentes de exposición al cadmio es a través del consumo de plantas contaminadas (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2008). Una vez en el cuerpo humano, el cadmio puede permanecer por un periodo de 10 a 30 años debido a su lenta excreción. Esta prolongada permanencia agrava los efectos negativos de la exposición continuada, afectando principalmente a los riñones, el hígado, los pulmones, el sistema óseo y los testículos (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 1999).

Impacto ambiental generado por el cadmio en los granos de maíz comercializados en el cantón Quevedo, Ecuador

En la tabla 2 se muestra la cuantificación del impacto ambiental, la cual revela que la concentración media mínima de cadmio es de +1,36 en la muestra testigo, mientras que la concentración media máxima alcanza +1,62. Estos resultados sugieren que el impacto ambiental sobre los granos de maíz aumenta significativamente en las muestras que han sido cosechadas.

La contaminación se incrementa durante las etapas posteriores de transporte, empaquetado y comercialización (Salas et al., 2019), lo que resulta en una mayor acumulación de cadmio y, en consecuencia, aumenta los niveles del impacto ambiental. Estos altos niveles de impacto ambiental pueden resultar en una calidad inferior de los granos de maíz, lo cual podría tener consecuencias significativas para la salud y bienestar de la población local.

Tabla 2. Cuantificación del impacto ambiental que genera el cadmio en el maíz

Elem	P_A (mg/kg)					P_{NC} (mg/kg)	Impacto Ambiental				
	M1M	**M2M**	**M3M**	**M4M**	**T1M**		**M1M**	**M2M**	**M3M**	**M4M**	**T1M**
Cd	1,50	1,52	1,59	1,72	1,46	0,1	1,40	1,42	1,49	1,62	1,36
Categoría							A	A	A	A	A

Análisis de datos

Según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks, los datos del impacto ambiental en los granos de maíz siguen una distribución normal (p=0,5141). Esto justificó la aplicación de un Análisis de Varianza (ANOVA) en conjunto con una comparación múltiple de Tukey, que determinó la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas (F=3,08 y p=0,0679) entre las medias de los diferentes grupos. Todas las medias compartieron la misma letra “A”, lo que confirma la homogeneidad entre los grupos.

En la figura 7, se ilustra el impacto ambiental promedio del cadmio en los granos de maíz comercializados en el cantón Quevedo, con un valor de +1,46. Este valor positivo refleja una significativa afectación en la calidad del maíz, comprometiendo su seguridad alimentaria debido a la pérdida de inocuidad. Los resultados destacan la urgencia de implementar medidas de mitigación y control de contaminantes en los cultivos agrícolas, con el fin de preservar la calidad y seguridad de los alimentos producidos en la región.

ISSN 2588-0764 | **Vol. 10. Núm. 1 (01-13): Enero-Abril, 2025** | **DOI:** 10.33936/revbasdelaciencia.v10i1.6895

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

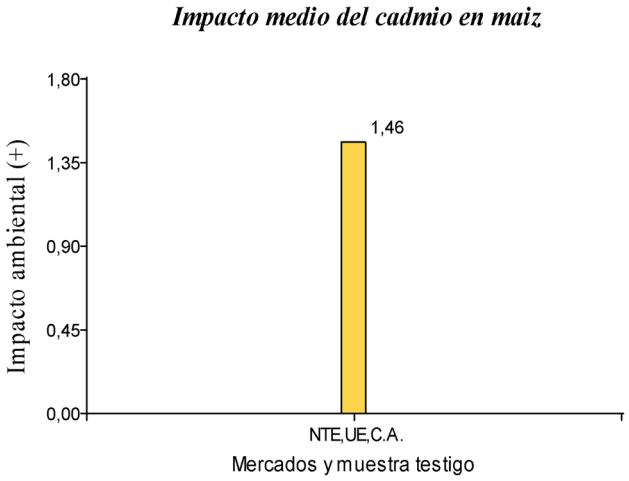

Figura 7. Impacto ambiental medio del cadmio en granos de maíz comercializados en Quevedo.

El impacto del cadmio en el maíz es significativo debido a su naturaleza tóxica y persistente en el ambiente. Se ha demostrado que el cadmio puede inhibir la germinación y el crecimiento de las plantas de maíz, lo que repercute negativamente en su productividad (Aguirre et al., 2022; Espinel-Rubio y Feo Ardila, 2022). Además de estos efectos directos, el cadmio conlleva otros problemas para el maíz, como una marcada reducción en su calidad, incluyendo la pérdida de propiedades nutricionales esenciales. Esto afecta tanto el valor alimenticio del maíz como su aceptación en el mercado. De acuerdo con Mazón González et al. (2012), el maíz tiene grandes atributos nutricionales, pero factores externos como la contaminación pueden afectarlos negativamente. Teniendo en cuenta que los resultados de la presente investigación demostraron un elevado impacto ambiental (+), es posible que los granos de maíz afectados puedan experimentar cambios en su calidad. Sin embargo, para confirmar esta hipótesis, sería necesario realizar estudios específicos sobre sus propiedades nutricionales.

CONCLUSIONES

La concentración media de cadmio en los granos de soja comercializados en Quevedo es de 1,56 mg/kg, superando los límites establecidos por la Unión Europea, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 452:2013 y el nivel máximo recomendado por la FAO en el Codex Alimentarius. Esta situación no solo indica contaminación, sino que también sugiere un riesgo significativo para la salud pública en el cantón. Además, el análisis del impacto ambiental reveló resultados positivos (+) en todos los casos evaluados. Esto sugiere que las concentraciones de cadmio en Quevedo causan un daño severo al entorno, particularmente en los granos de maíz. El impacto ambiental promedio registrado fue de +1,46, lo que refuerza la gravedad del daño ambiental asociado con la contaminación por cadmio en la región.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS DE LOS AUTORES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

CC BY NC ND

REFERENCIAS

Aoac International. (2023). *Official methods of analysis of AOAC International* (22nd ed.). Aoac International. https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (1999). *División de toxicología y medicina ambiental.* U.S. Department of Health and Human Services. https://www.atsdr.cdc.gov/es

Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2008). *ToxFAQs™ sobre el cadmio*. U.S. Department of Health and Human Services. https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts7.pdf

Aguirre, H., Viteri, P., León, P., Mayía, Y., Cobos, P., Mero, M., & Pernía, B. (2022). Fitotoxicidad del cadmio sobre la germinación y crecimiento inicial de variedades de maíz ecuatorianas. *Bioagro, 34*(1), 3-14. https://doi.org/10.51372/bioagro341.1

Alonso, L., & Poveda, J. (2008). *Estudio comparativo en técnicas de recuento rápido en el mercado y placas Petrifilm™ 3M™ para el análisis de alimentos (Tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Javeriana. https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8238/tesis230.pdf?seque

Arada Pérez, M., Garrido Larramendi, D., & Acebal Ibarra, A. T. (2018). Evaluación de metales pesados e impacto ambiental en los pozos "Rive Fuente" y "Bárbara" del poblado El Cobre. *Revista Cubana de Ciencias Ambientales, 30*(1), 68–76. https://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000100006

Barragán Monrroy, R. J., Bravo Sánchez, L. R., & Torres Puentes, J. C. (2022). Cuantificación de cadmio y plomo en granos de soja (Glycine max) comercializados en el cantón Quevedo, Ecuador. *Revista Bases de la Ciencia, 7*(1), 37–50. https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i1.4242

Castellari, C. C., Cendoya, M. G., Marcos Valle, F. J., Barrera, V., & Pacin, A. M. (2015). Factores extrínsecos e intrínsecos asociados a poblaciones fúngicas micotoxigénicas de granos de maíz (Zea mays L.) almacenados en silos bolsa en Argentina. *Revista Argentina de Microbiologia, 47*(4), 350–359. https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.08.003

Chancay-Alcívar, L. F., Delgado-Demera, M., & Salas-Macías, C. A. (2022). Cadmio en el cultivo de cacao (Theobroma cacao L.) y sus efectos ambientales. La Técnica: *Revista de Las Agrociencias, 91*(1), 91–110. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.4324

Codex Alimentarius Commission. (2022). Code of practice for the prevention and reduction of cadmium contamination in cocoa. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?

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, 12*(2), 66–74. https://doi.org/https://doi.org/10.53591/cna.v12i2.285

Cuevas, G., & Walter, I. (2004a). Metales pesados en maíz (Zea mays l.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual. *Revista Científica Ciencias Naturales Y Ambientales, 20*(2), 59–68. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37000202

Espinel-Rubio, G. A., & Feo-Ardila, J. M. (2022). Territorio e identidad de resistencia en jóvenes del Catatumbo (Colombia), constructores de paces imperfectas. *Investigación & Desarrollo, 30*(1), 40–68. https://doi.org/10.14482/indes.30.1.303.661

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MANABÍ
Fundada en 1952

BASES DE LA CIENCIA
REVISTA CIENTÍFICA
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
Portoviejo - Manabí - Ecuador

European Commission. (2021). Commission Regulation (EU) 2021/1323 - *Maximum levels for cadmium in foodstuffs*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32021R1323

Instituto Ecuatoriano de Normas Técnicas. (2013). NTE INEN 187:2013 - Granos de soja. Determinación de cadmio. https://www.inen.gob.ec/

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua.https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/PPT_%20ESPAC_%202022_04.pdf

Férez, J. G. (2014). *Nuevos métodos de pretratamiento de muestra para el análisis de alimentos mediante cromatografía líquida* (Tesis doctoral, Universidad de Murcia). https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/146286/TJGFM.pdf;jsessionid=4BBE25EA1367003DAD4140B5F2D80FC5?sequence=1

Gallardo, A., Pernía, B., Mero, M., Arellano, A., Risco, C., Alvarado, D., & Aguirre, H. (2021). Efectos del cadmio sobre la germinación y biomasa en variedades de caña de azúcar de la cuenca baja del Guayas. *Revista Científica de Ciencias Naturales y Ambientales, 13*(1), 65-72. https://doi.org/10.53591/cna.v13i1.354

García, L. E., Fernández, D. S., Rubio, E., Martínez, M. R., & Tijerina, L. (2020). Maize (Zea mays L.) yields in southern Mexico calculated by the Decision Support System for Agrotechnology Transfer. *Terra Latinoamericana, 38*(4), 859–870. https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.751

López, G. I., Zuñiga, A., Cruz, R. G., Díaz, M., & Rayas, A. A. (2017). Cuantificación de metales pesados en el cultivo de la fresa (Fragariaxananassa Duch. var. festival) en Tenancingo y Villa Guerrero Estado de México. *Revista Agroproductividad, 10*(2), 51-62. https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/92/85

Maroneze, M. M., Zepka, L. Q., Vieira, J. G., Queiroz, M. I., & Jacob-Lopes, E. (2014). A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Agua, 9*(3), 445–458. https://doi.org/10.4136/1980-993X

Mazón González, M. de los A., Escobedo Garrido, J. S., Herrera Cabrera, E., Macías López, A., Hernández Plascencia, J., Vázquez Carrillo, G., & Wesche Ebeling, P. A. (2012). Maíz de alto contenido proteínico (Zea mays L.) en hogares rurales marginados del estado de Puebla. *Estudios Sociales, 20*(39), 131-154. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572012000100005

Montiel-Díaz, Y. F. (2021). *Concentraciones de metales pesados en productos agropecuarios en la región de la Mojana: Evaluación del riesgo en la salud humana* (Tesis de maestría, Universidad de Córdoba). Repositorio Institucional de la Universidad de Córdoba. https://repositorio.unicordoba.edu.co/items/83492ded-961e-460b-be7f-a3ed4cca1967

Narváez, C. (2020). Ayudas públicas en Ecuador: análisis del mercado de comercialización de productos básicos agrícolas. *Revista de La Facultad de Jurisprudencia RFJ, 7*(7), 35–63. https://doi.org/10.26807/rfj.v7i7.242

Núñez, C. A. (2019). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta Agrícola y Pecuaria, 4*(3). https://doi.org/10.30973/aap/2018.4.3/1

CC BY NC ND

Remache, L., & Vargas, E. (2020). *Elaboración de una bebida a base de soya (Glycine max) y morocho blanco (Zea mays variedad morochon), como una alternativa para consumo de proteína vegetal* (Tesis de pregrado). Universidad Estatal de Amazonas. https://repositorio.uea.edu.ec/xmlui/handle/123456789/901

Retamal Salgado, J. (2017). *Absorción y bioacumulación de cadmio en tres cultivares de maíz (Zea mays L.) para diferentes medioambientes de Chile* (Tesis de pregrado, Universidad de Concepción). Repositorio de la Universidad de Concepción. http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/2711

Ruiz, E., & Armienta, M. (2012). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a Jales o residuos mineros. *Revista Científica Ciencias Naturales Y Ambientales, 2*, 103–117. https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n2/v28n2a1.pdf

Salas-Marcial, C., Garduño-Ayala, M. A., Mendiola-Ortiz, P., Vences-García, J. H., Zetina-Román, V. C., Martínez-Ramírez, O. C., & Ramos-García, M. D. L. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos, efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, 20*(1), 1-15. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81359562002

Zhuang, Z., Niño-Savala, A. G., Ma, Z. D., Wan, Y. N., Su, D. C., Li, H. F., & Fangmeier, A. (2021). Cadmium accumulation in wheat and maize grains from China: Interaction of soil properties, novel enrichment models and soil thresholds. *Environmental Pollution, 275*, 116623. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116623

CONTRIBUCIÓN DE AUTORES

Autor	Contribución
Roberto Johan Barragan Monrroy	Conceptualización, elaboración de manuscrito, parte experimental y revisión del manuscrito
Ariana Solange Montero Pincay	Parte experimental, Muestreo, búsqueda bibliográfica
Carla Maria Sabando Cedeño	Parte experimental, procesamiento de datos, búsqueda bibliográfica
Betty Beatriz González Osorio	Edición del manuscrito, procesamiento de datos y revisión del manuscrito.