

Riesgo Toxicológico por Plomo en Granos de Soja (*Glycine max* L.) Comercializados en el Cantón Quevedo, Ecuador

Toxicologia Lead Risk Assesment of Soybean (*Glycine max* L.) Beans Commercializaed in Quevedo canton, Ecuador

Roberto Johan Barragán Monrroy ¹ , Marilyn Maylin Macas Cobeña ¹ , Betty Beatriz Gonzalez Ozorio ¹ , Anahi Esperanza Vargas Miranda ¹ , Juliana Eugenia Soto Mendoza ¹ .

¹Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Autor correspondal:

Roberto Johan Barragán
Monrroy
roberto.barragan2014@uteq.edu.ec

Citar como:

Barragan Monrroy, R.,
Macas Cobeña, M. M.,
Gonzales Ozorio, B.
B., Vargas Miranda, A.
E., & Soto Mendoza,
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>

Recibido: 03 de mayo
2024

Aceptado: 27 de
noviembre 2024



© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Ambiente, Comportamiento y Sociedad de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

Resumen

El plomo, un metal altamente tóxico, puede acumularse en el cuerpo mediante la ingesta de alimentos, especialmente de cereales y granos. La soja, al ser un cereal, se caracteriza por su notable capacidad de resistencia a metales tóxicos, lo que la hace menos susceptible a procesos de descomposición química y biológica. La presente investigación tiene como objetivo cuantificar las concentraciones de plomo en granos de soja y el riesgo toxicológico al que encuentra expuestos los habitantes del cantón Quevedo. Para lograrlo, se recolectaron mensualmente muestras de granos de manera aleatoria en triplicado (n=3) de cuatro mercados, junto con una muestra testigo. Posteriormente, se analizaron de forma independiente. Las muestras se pesaron, calcinaron a 600°C durante dos horas, enfriaron y digirieron con ácido nítrico y clorhídrico concentrados. Los digestados se diluyeron a 10 ml con ácido nítrico al 3% y se analizaron mediante espectrometría de absorción atómica. La evaluación del riesgo toxicológico se realizó utilizando la Guía de Evaluación para Medios Ambientales de la ATSDR, considerando parámetros como la EMEG, DE, IP, ME y RI. Las concentraciones promedio de plomo en la soja fueron de $1,15 \pm 0,13$ mg.Kg-1, superando los límites permitidos por INEN: 2013, Codex Alimentarius y la Unión Europea (0,1 - 0,2 mg/kg). Sin embargo, la evaluación toxicológica sugiere que las condiciones locales son seguras. Aunque no se encontró un riesgo inminente para la población, las concentraciones elevadas de plomo en la soja son preocupantes, especialmente para la salud infantil.

Palabras clave: metales, concentraciones, tóxico, mercados, riesgo.

Abstract

Lead, a highly toxic metal, can accumulate in the body through food intake, especially cereals and grains. Soybean, being a cereal, is characterized by its notable capacity for resistance to toxic metals, which makes it less susceptible to chemical and biological decomposition processes. The objective of this research is to quantify the concentrations of lead in soybeans and the toxicological risk to which the inhabitants of the Quevedo canton are exposed.

To achieve this, random grain samples were collected monthly in triplicate ($n=3$) from four markets, along with a control sample. Subsequently, they were analyzed independently. The samples were weighed, calcined at 600°C for two hours, cooled and digested with concentrated nitric and hydrochloric acid. The digestates were diluted to 10 ml with 3% nitric acid and analyzed by atomic absorption spectrometry. The toxicological risk evaluation was carried out using the ATSDR Evaluation Guide for Environmental Environments, considering parameters such as EMEG, DE, IP, ME and RI. The average concentrations of lead in soybeans were $1.15 \pm 0.13 \text{ mg. Kg}^{-1}$, exceeding the limits allowed by INEN:2013, Codex Alimentarius and the European Union ($0.1 - 0.2 \text{ mg/kg}$). However, toxicological evaluation suggests that local conditions are safe. Although no imminent risk to the population was found, the high concentrations of lead in soybeans are worrying, especially for children's health.

Keywords: metals, concentrations, toxic, markets, risk.

Introducción

La presencia de metales tóxicos en el agua, el suelo y el aire es un problema grave que afecta negativamente la seguridad alimentaria y la salud pública tanto a nivel mundial como local (Bravo, 2018; Díaz et al., 2019; Reyes et al., 2016). La acumulación de estos metales en los suelos y cultivos es atribuible principalmente al acelerado proceso de industrialización y al uso indiscriminado de pesticidas y fertilizantes, configurando así uno de los problemas ambientales más críticos debido a la persistencia no biodegradable y la prolongada vida media biológica (Chaoua et al., 2019; Sharma et al., 2018). En cierta medida, estos metales tienen la capacidad de ingresar a organismos vivos, como plantas y animales, a través de la ingestión de alimentos (Constantino et al., 2005).

Los metales tóxicos capaces de generar perjuicios en las funciones metabólicas y biológicas son; arsénico (As), plomo (Pb) y cadmio (Cd). El plomo puede acumularse en el cuerpo, su principal vía se da a través de alimentos como vegetales, cereales y granos, puede generar un impacto significativo de exposición y puede producir efectos carcinogénicos, mutagénicos, teratogénicos (OMS, 2022; McKeivith, 2004; Tchounwou et al., 2012). En este contexto, la soja al ser un cereal, se destaca por su notable capacidad de resistencia a los metales tóxicos, lo que puede llevar a su bioacumulación y generar riesgos significativos para la salud debido a sus efectos perjudiciales en el organismo (Mao et al., 2018; Pérez et al., 2018). La evaluación de riesgo toxicológico por consumo de alimentos contaminados por metales tóxicos es un proceso científico riguroso que busca determinar la probabilidad de efectos adversos para la salud humana. Siguiendo la metodología EMEG (Evaluación para Medios Ambientales), la cual requiere un análisis integral de múltiples factores. La dosis de exposición (DE), es decir, la cantidad de plomo al que una persona está expuesta, ya sea por alimentos, aire o suelo contaminado. El índice de peligro (IP) evalúa la seguridad de estas condiciones locales.

El margen de exposición (ME) indica cuán cerca se está a los niveles peligrosos por el consumo. Por último, el riesgo individual (RIC) de cáncer por plomo estima la probabilidad de desarrollar esta enfermedad (Díaz, 1999). En conjunto, estos elementos permiten conocer a los expertos en salud pública medir el riesgo para una población y tomar medidas preventivas efectivas.

En Ecuador, durante el período 2018, se registró un total de 1,569.20 hectáreas cultivadas de soja, de esta superficie, el 68% de la producción se concentró en la provincia de Los Ríos. De acuerdo con la Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria, el cantón Quevedo alcanzó una extensión de cultivo de soja correspondiente a 88,99 hectáreas en el año 2018, lo que equivale a 5,67% a nivel nacional (Aguilar et al., 2018).

En la presente investigación se evaluó el riesgo toxicológico por plomo en granos de soja (*Glycine max L.*) comercializados en el cantón Quevedo, Ecuador, el cual permitió conocer el nivel de exposición al que está sometida la población debido al consumo de estos granos. Es esencial comprender y abordar los posibles riesgos derivados de la contaminación por plomo en uno de los principales cultivos de la región, especialmente considerando que Quevedo es una próspera zona agrícola que depende en gran medida de la producción y el consumo de alimentos locales.

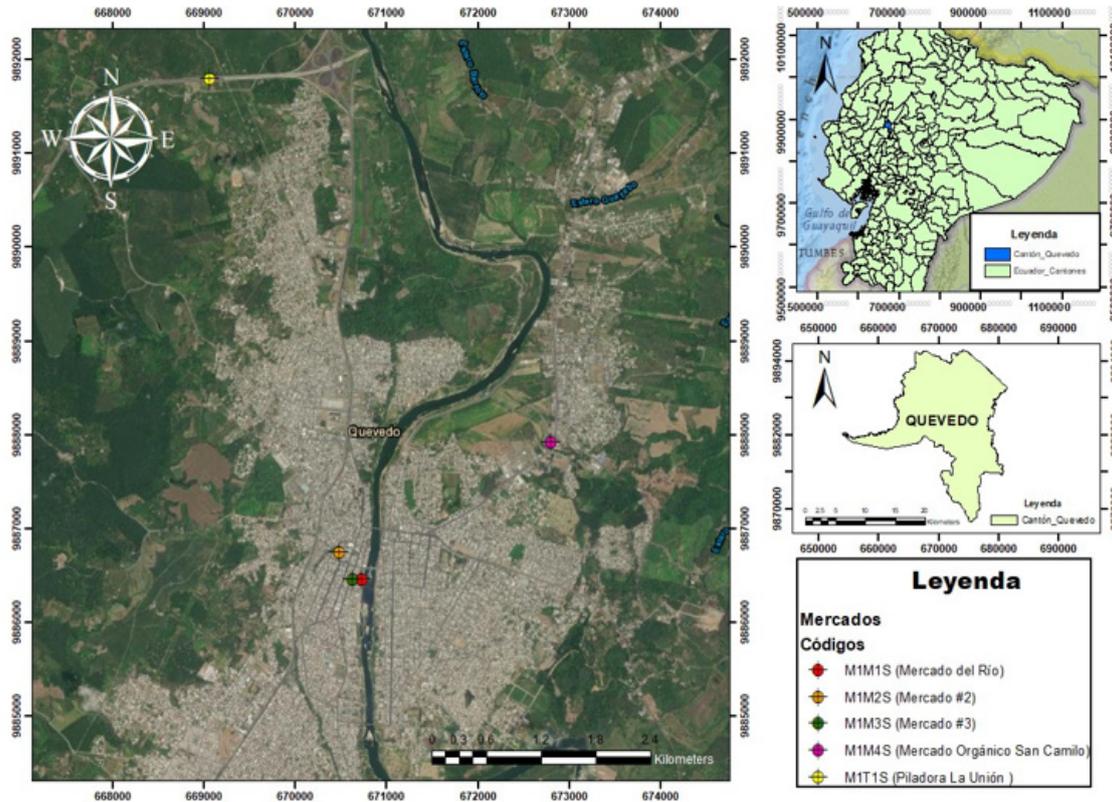
Materiales y Métodos

Localización

El mapa georreferenciado del cantón Quevedo muestra su ubicación en la provincia de Los Ríos. Con una población de 173,575 habitantes, el cantón limita al norte con Buena Fe y Valencia (INEC, 2010). Su extensión territorial es de 37,881.0 hectáreas y se encuentra geográficamente localizado en las coordenadas UTM GWS; X: 540236,30 – Y: 77612,00 (GAD Municipal de Quevedo, 2021).

Figura 1

Mapa de ubicación y puntos de muestreo de los mercados MIM1S “0”, MIM2S “0”, MIM3S “0”, MIM4S “0” y la muestra testigo MIT1S “0” del cantón Quevedo.



Fuente: Autora, ArcGIS 10.8, (2024).

Muestreo

En base al código alimentario de países de América Latina, para el análisis de muestras alimentarias los muestreos se desarrollaron por triplicado ($n=3$), considerando la identidad entre cada una de las muestras en cuanto a su mismo origen, producto, contenido, lugar, número de lote, entre otros (ANMAT, 2018).

Para garantizar la representatividad de las muestras, se realizaron salidas de campo a los principales mercados de Quevedo, donde se identificaron y seleccionaron cuatro puntos de venta de granos de soja. En cada punto, se recolectaron tres muestras compuestas de forma aleatoria en cada evento de muestreo, con la finalidad de comparar las concentraciones de plomo, basado en el método analítico “Standard methods 3111B Modificado” (Latimer, 2016). Por otra parte, se tomó aleatoriamente una muestra testigo por triplicado de los cultivos de soja con el fin de analizar si existió influencia de contaminación por plomo después que el cultivo ha sido cosechado y comercializado.

La recolección de las muestras se realizó a lo largo de un lapso de tres meses, durante el período comprendido entre noviembre de 2022 y enero de 2023 correspondiente a la época lluviosa, logrando un total de 15 muestras.

Método Analítico

Las muestras de granos de soja fueron sometidas a un riguroso análisis cuantitativo de plomo en un laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano bajo la norma ISO/IEC 17025. Se empleó la técnica de espectrometría de absorción atómica, siguiendo el método estándar 3111B. Previamente, las muestras fueron digeridas en una mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico concentrados para descomponer la matriz orgánica y liberar el plomo en una solución acuosa. Los extractos resultantes fueron diluidos y analizados cuantitativamente mediante una curva de calibración construida con patrones de concentración conocida de plomo.

Tratamiento de las Muestras

Las muestras de soja fueron pesadas y calcinadas por dos horas a 600°C, luego enfriadas y se procedió a digerir las cenizas con ácido nítrico y clorhídrico concentrados. Finalmente, los digestados se transfirieron cuantitativamente y llevados a volumen de 10 ml con ácido nítrico 3% para su lectura.

Se inició encendiendo el EAA y seleccionando la longitud de onda óptima para el plomo, establecida en 283,3 nm. Se preparó una serie de soluciones estándar de plomo con concentraciones conocidas, abarcando el rango de interés para las mediciones. Las soluciones estándar fueron aspiradas en orden ascendente de concentración en el EAA, y se registraron las absorbancias resultantes. Con los datos recopilados, se construyó una curva de calibración que proporcionó la relación entre las concentraciones conocidas de plomo y las absorbancias medidas.

La curva de calibración previamente generada se utilizó para determinar la concentración de plomo en las muestras. Este proceso aseguró una evaluación precisa basada en la relación establecida entre las absorbancias medidas y las concentraciones conocidas durante la calibración del instrumento. Para las concentraciones de plomo se consideró 0,00; 1,00; 3,00; 10,00 mg. L⁻¹.

Análisis estadísticos

Para determinar posibles diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en la concentración de plomo entre los diferentes mercados y el grupo testigo, se llevó a cabo un análisis de normalidad para determinar la idoneidad de aplicar una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis o un análisis de varianza (ANOVA) con la prueba de Tukey HSD (Diferencia Significativa Honesta) con un nivel de confianza del 95%. Estos análisis se realizaron utilizando el software estadístico INFostat. (Balzarini et al., 2008).

Niveles Máximos y Límites Máximos Permisibles para plomo

Con el fin de determinar si existía riesgo de contaminación, se llevó a cabo un análisis comparativo entre los niveles de plomo detectados y los límites máximos establecidos en normativas reconocidas a nivel nacional e internacional: NTE INEN 452:2013, Codex Alimentarius y de la Unión Europea.

La normativa NTE INEN 452:2013 detalla los requisitos que la soja en su estado natural debe cumplir antes de su comercialización, garantizando su calidad e idoneidad para su venta en el mercado, esta normativa establece que el contenido máximo permitido de plomo, un metal tóxico, no debe exceder los 0,2 mg/kg (INEN, 2013).

El Codex Alimentarius se ocupa de los contaminantes y toxinas en alimentos y piensos, en la sección que trata sobre cereales en grano, se establece un límite permisible de 0,1 mg/kg para la soja (Alimentarius, 1995).

La legislación de la Unión Europea sobre contaminantes químicos en productos alimentarios establece límites máximos permitidos para sustancias nocivas, en relación específicamente a los granos de soja, se estipula que el contenido de plomo no debe exceder los 0,2 mg/kg (Unión Europea, 2003).

Cálculo de la evaluación del riesgo toxicológico

Para llevar a cabo el cálculo de la evaluación del riesgo toxicológico debido a la exposición al plomo presente en las muestras recogidas en los mercados del cantón Quevedo, se empleó la metodología delineada por el Estándar Mínimo de Exposición Ambiental (EMEG), como se establece en la Guía de Evaluación para Medios Ambientales propuesta por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Esta metodología se centró en la evaluación de diversos parámetros críticos para determinar la posible amenaza que representan las concentraciones de plomo, asegurando una evaluación exhaustiva y basada en estándares reconocidos internacionalmente, el cual se centra en los siguientes parámetros (Díaz, 1999):

- 1.- Evaluación para medios contaminados
- 2.- La dosis de exposición.
- 3.- El índice de peligro.
- 4.- El margen de exposición.
- 5.- El riesgo individual del cáncer por plomo

Evaluación para medios contaminados

Se implementaron fórmulas, específicamente el EMEG (Guía de Evaluación para Medios Ambientales), propuesto por la ATSDR, para evaluar la concentración de contaminantes en agua, suelo o aire. Este parámetro se define como la concentración que presenta una probabilidad baja de estar asociada con riesgos apreciables de efectos no cancerígenos adversos durante un período específico de exposición (Díaz, 1999). En el cálculo de este valor, se utilizó como referencia el RfD (Dosis de referencia).

La RfD indica la cantidad diaria de una sustancia tóxica que se puede consumir a lo largo de la vida sin causar efectos adversos. Para determinar este valor, se consultó a la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA), que informó un valor de 0,006 mg/kg/día para el plomo. Se consideró un peso corporal (PC) de 51 kg para adultos y 15 kg para niños (INEC, 2015), mientras que la tasa de ingesta (TI) del medio contaminado (suelo, en este caso) en el organismo se estableció en 100 mg/kg para adultos y 200 mg/kg para niños (USEPA, 1989). La ecuación 1 se utilizó para el cálculo del EMEG.

$$\text{EMEG} = \frac{\text{RfD (mg/kg/día)} * \text{PC (kg)}}{\text{TI (} \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{)}} \quad (1)$$

Dosis de exposición

La Dosis de Exposición (DE) representa la cantidad diaria de toxina presente en el medio contaminado y se expresa en mg/kg/día. En el cálculo de la DE, se utilizaron los siguientes valores: C, que es la concentración del tóxico determinada en las muestras de soja, considerando valores promedios obtenidos de la cuantización. Mientras que la TI se aplica bajo el mismo parámetro mencionado con anterioridad (Díaz, 1999). Por tanto, la el cálculo de la DE se llevó a cabo mediante la aplicación de la ecuación 2.

$$\text{DE (mg/kg/día)} = \frac{\text{C (mg/kg)} * \text{TI (mg/kg)}}{\text{PC (Kg)}} * \text{FE} \quad (2)$$

Donde:

DE = Dosis de exposición (mg/kg/día)

C = Concentración del metal tóxico (mg/kg)

PC = Peso corporal; 51 (mg/kg) para adultos y 15 (mg/kg) para niños

TI = Tasa de ingesta (admisible para suelos); 100 (mg/kg) para adultos y 200 (mg/kg) para niños.

En cuanto al factor de exposición (FE) se evaluó mediante datos específicos en cuanto a la permanencia de los mercados, 7 días a la semana, 52 semanas al año, durante 70 años correspondiente a la vida promedio de una persona. Para el cálculo de FE, se muestra en la ecuación 3.

En cuanto al factor de exposición (FE) se evaluó mediante datos específicos en cuanto a la permanencia de los mercados, 7 días a la semana, 52 semanas al año, durante 70 años correspondiente a la vida promedio de una persona. Para el cálculo de FE, se muestra en la ecuación 3.

$$\text{FE} = \frac{\text{Frecuencia de exposición}}{\text{Tiempo de exposición}} \quad (3)$$

Índice de peligro

La seguridad en las condiciones locales de exposición se refleja mediante el índice de peligro (IP), el cual es seguro cuando su valor es uno o menor, es decir, si el valor del IP aumenta progresivamente por encima de uno, indica que la exposición local está alcanzando niveles peligrosos, lo que incrementa la probabilidad de que se manifiesten efectos adversos en la población (Díaz Barriga, 1999). Su cálculo se muestra en la ecuación 4.

$$IP = \frac{\text{Dosis de Exposición (DE)}}{\text{DfR}} \quad (4)$$

Donde:

IP = Índice de peligro

DE = Dosis de exposición (mg/kg*día)

RfD = Dosis de referencia (mg/kg*día)

Margen de exposición

El margen de exposición (ME) se define como la medida de la exposición a sustancias tóxicas en el entorno, específicamente en el suelo. Para el cálculo se requiere de NOAEL con un valor de 250 mg/kg (Madhavan et al., 1989), y la DE. El resultado del ME opera en sentido contrario al Índice de Protección (IP). Cuanto mayor sea el valor del ME en comparación con uno, más extenso será el margen de seguridad, disminuyendo así la probabilidad de que los efectos se manifiesten en la comunidad (Díaz, 1999). Su cálculo se presenta en la siguiente ecuación 5.

$$\text{ME} = \frac{\text{“NOAEL”}}{\text{“DE”}} \quad \text{“(5)”}$$

ME = Margen de exposición

NOAEL = Nivel sin efecto observable (mg/kg)

DE = Dosis de exposición (mg/kg*día)

Riesgo individual de cáncer

El riesgo individual (RI), refiere a la probabilidad de desarrollar cáncer en una persona expuesta al agente tóxico. De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (EPA). El valor recomendado para plomo es de 0.0085mg/kg/día y el valor de la dosis de exposición (DE) (Orisakwe et al., 2017).

La cifra del riesgo individual generalmente es muy baja, indicando las probabilidades de desarrollar cáncer, en el orden de diez milésimas o cien milésimas. La cifra obtenida a nivel local describe una situación imaginaria, entendida como la cantidad de casos de cáncer que podría manifestarse en esa población si todos sus integrantes estuvieran expuestos de manera continua a lo largo de sus vidas a la concentración del carcinógeno presente en esa comunidad.

A continuación, en la ecuación 6, se presenta la formulación implementada para obtener el riesgo individual de cáncer (Díaz, 1999).

RI= Factor potencial de cáncer*Dosis de Exposición (DE) (6)

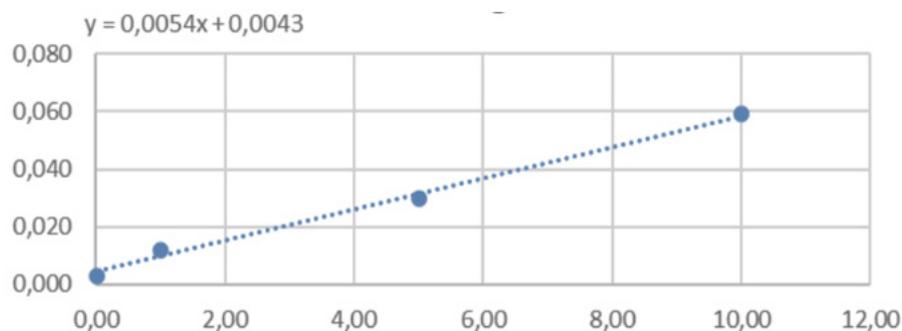
RI = Riesgo individual

FPC = Factor potencial de cáncer (mg/ kg/día)

DE = Dosis de exposición (mg/kg*día)

Resultados***Cuantificación de plomo***

Se construyó una curva de calibración lineal para la cuantificación de plomo mediante la medición de absorbancia. Esta curva presentó un excelente ajuste lineal en todo el rango de trabajo, con un coeficiente de variación inferior al 5%. Los límites de detección y cuantificación, determinados por el laboratorio, fueron de $0,01 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $0,02 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente. Los estudios de recuperación para muestras reales indicaron una exactitud promedio del 96% para plomo.

Figura 2***Curva de calibración para la detección de Pb***

Fuente: Elaboración propia.

Concentraciones de plomo

Los resultados de la cuantificación de plomo en granos de soja del cantón Quevedo revelan que la muestra testigo presentó una bioacumulación significativamente mayor de este metal en comparación con el promedio de las demás muestras, sugiriendo una carga contaminante inicial superior en este lote específico, tal como se muestra a continuación:

Tabla 1

Concentraciones de plomo en los mercados y la muestra testigo del cantón Quevedo

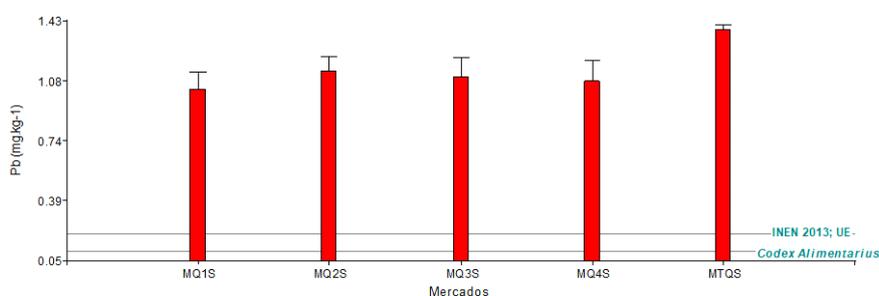
Mercados	Concentraciones de Pb (mg/kg)
MQ1S	1,04 ± 0,17
MQ2S	1,14 ± 0,14
MQ3S	1.10 ± 0,19
MQ4S	1.08 ± 0,20
MTQS	1.37 ± 0,06

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis estadístico no evidenciaron diferencias significativas entre los grupos ($F = 2,07$; $p > 0.05$). Sin embargo, es relevante subrayar que la concentración promedio de plomo en todas las muestras excedió considerablemente tanto el Nivel Máximo (NM) establecido por el Codex *Alimentarius* (0.1 mg/kg) como el Límite Máximo Permitido (LMP) según la NTE INEN 452:2013 y las normativas de la Unión Europea (0.2 mg/kg)

Figura 3

Comparación de las concentraciones (mg.kg⁻¹) de Pb con normativas nacionales e internacionales

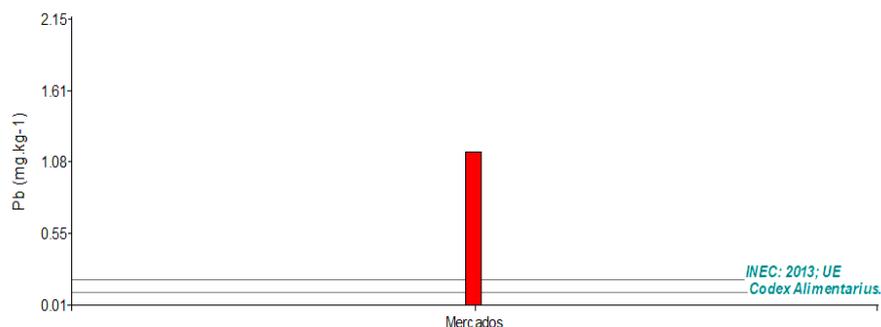


Fuente: Elaboración propia empleando el software InfoStat.t

El promedio general de plomo fue de $1,15 \pm 0,13$ mg.kg⁻¹. No obstante, se identificó un valor atípico en las concentraciones de plomo, particularmente notable en la muestra testigo MTQS, donde alcanzó $1,37$ mg.kg⁻¹

Figura 4

Promedio general de Plomo en los granos de soja comercializados en el cantón Quevedo



Fuente: Elaboración propia empleando el software InfoStat.t

Riesgo toxicológico por plomo en los granos de soja

Evaluación para medios contaminados (EMEG)

Los cálculos de EMEG, realizados según la ecuación 1, indican que las concentraciones de plomo en el conjunto de muestras analizadas se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) en su Guía de Evaluación de Medios Ambientales (EMEG). Por tanto, el consumo de la soja analizadas no representa un riesgo significativo para la salud de la población consumidora.

Tabla 2

Valores calculados de la Evaluación para Medios Ambientales (EMEG)

Adultos	Niños	Unidades
312,12	67,50	mg/kg/día

Fuente: Elaboración propia.

Dosis de exposición

Los cálculos de la dosis de exposición (DE) para niños y adultos, obtenidos mediante la ecuación 2, indican niveles significativamente mayores en el Mercado 3 (MQ3S) y la muestra testigo. Los datos presentados en la Tabla 5 corroboran esta tendencia, revelando que los niños, en promedio, presentan una exposición al consumo de granos de soja superior a la de los adultos.

Tabla 3*Cálculo de la Dosis de exposición (DE) por plomo en los granos de soja*

Factor	MQ1S		MQ2S		MQ3S		MQ4S		MTQS	
	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N
C	1,04	1,04	1,14	1,14	1,10	1,10	1,08	1,08	1,37	1,37
TI	980,39	1333,33	980,39	1333,33	980,39	1333,33	980,39	1333,33	980,39	1333,33
PC	51	15	51	15	51	15	51	15	51	15
FE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Factor de ajuste	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	1×10^{-6}
DE	2×10^{-5}	$9,2 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$	0,0001	$2,12 \times 10^{-5}$	$9,8 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	$2,6 \times 10^{-5}$	0,00012

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 4.***Promedio general de exposición al plomo en los granos de soja en niños y adultos*

Niños	Adultos	Unidades
0,00002	0,0001	mg/kg/día

Fuente: Elaboración propia.

Índice de peligro

El índice de peligro (IP) representa el nivel de seguridad de las condiciones locales de exposición; valores iguales o inferiores a uno indican un nivel de exposición seguro. A medida que el valor del IP supera uno, sugiere un incremento en los niveles de riesgo de exposición local, lo que aumenta la probabilidad de efectos adversos en la población (Díaz, 1999).

Los resultados del Índice de Peligrosidad (IP) indican que, tanto en niños como en adultos, la exposición al plomo a través del consumo de soja se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles. Sin embargo, los niños presentan valores de IP significativamente superiores, lo que sugiere una mayor vulnerabilidad a los efectos del plomo, especialmente considerando las exposiciones combinadas a través de otras vías como el aire, el agua y otros alimentos.

Tabla 5*Cálculo del Índice de Peligro (IP) por plomo en los granos de soja*

	MQ1S		MQ2S		MQ3S		MQ4S		MTQS	
	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N
DE	2×10^{-5}	$9,2 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$	0,0001	$2,12 \times 10^{-5}$	$9,8 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	$2,6 \times 10^{-5}$	0,00012
DfR	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
IP	0,0001 23	0,00241 889	0,00013 532	0,00265 222	0,00013 135	0,00257 444	0,00012 857	0,002 52	0,00016 349	0,00320 444

Nota: Elaboración propia.**Tabla 6***Promedio general del Índice de peligro al plomo en los granos de soja en niños y adultos*

Niños	Adultos	Unidades
0,016977735	0,003671657	mg/kg/día

Nota: Elaboración propia.***Margen de exposición***

La evaluación del margen de exposición a plomo, se calculó considerando el nivel de efecto Observable (NOAEL) y la Dosis de Referencia a Largo Plazo (Doral) para plomo, tal como se lo establece en la (ecuación 5). Este resultado, indica que el ME para ambos grupos etarios (niños y adultos) es superior a 1, lo que sugiere que la exposición al plomo a partir del consumo de granos de soja se encuentra por debajo del nivel de riesgo. Por tanto, se reduce la probabilidad de efectos adversos en la población por el consumo de los granos de soja disponibles en los mercados de la región de Quevedo.

Tabla 7

Cálculo del Margen de exposición (ME) por plomo en los granos de soja

	MQ1S		MQ2S		MQ3S		MQ4S		MTQS	
	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N
NOAEL	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
DE	2×10^{-5}	$9,2 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$	0,0001	$2,12 \times 10^{-5}$	$9,8 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	$2,6 \times 10^{-5}$	$0,0001_2$
ME	$\frac{1254}{4043}$	$\frac{271302}{9}$	$\frac{1144137}{4}$	$\frac{247433}{6}$	$\frac{1178703}{5}$	$\frac{254910}{0}$	$\frac{1204169}{3}$	$\frac{260417}{3}$	$\frac{946968}{1}$	$\frac{204794}{2}$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Promedio general del Margen de exposición al plomo en los granos de soja en niños y adultos

Niños	Adultos	Unidades
2477718,17	11456965,4	mg/kg/día

Nota: Elaboración propia.

Riesgo cancerígeno individual

Los resultados del análisis de riesgo individual de carcinogénesis atribuible a la exposición al plomo indican que, para los niveles de consumo evaluados, el riesgo asociado con el consumo de granos de soja se encuentra por debajo de los umbrales de preocupación. Estos hallazgos son consistentes con las guías de la Agencia de Protección Ambiental (EPA), que establecen un límite máximo de ingesta diaria de plomo de 0.0085 mg/kg de peso corporal.

Tabla 9*Cálculo del Riesgo individual por cáncer (RI) por plomo en los granos de soja*

	MQ1S		MQ2S		MQ3S		MQ4S		MTQS	
	A	N	A	N	A	N	A	N	A	N
FPC	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085	0,0085
DE	2×10^{-5}	$9,2 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-5}$	0,0001	$2,12 \times 10^{-5}$	$9,8 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-5}$	1×10^{-5}	$2,6 \times 10^{-5}$	0,00012
RI	$\frac{1,7 \times 10^{-7}}{7}$	$7,8 \times 10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-7}$	$8,6 \times 10^{-7}$	$1,8 \times 10^{-7}$	$8,3 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-7}$	$8,1 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-7}$	$1,0 \times 10^{-6}$

*Fuente: Elaboración propia.***Tabla 10***Promedio general del Margen de riesgo individual por cáncer al plomo por consumo de los granos de soja en niños y adultos*

Niños	Adultos	Unidades
0,000000136374	0,00000000695786	mg/kg/día

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La elevada concentración de plomo en el suelo podría ser consecuencia de las intensivas prácticas agrícolas que implican un uso indiscriminado de insumos químicos (Tchounwou et al., 2012). A pesar de no ser un elemento esencial para el crecimiento vegetal, el plomo puede ser absorbido y acumulado por las plantas, especialmente en sus raíces (Blanco et al., 2017; Mao et al., 2018). Esta bioacumulación se ve favorecida por la exposición prolongada a suelos contaminados.

Los análisis de muestras de medios contaminados, según Mercado et al. (2009), indican concentraciones de plomo que, si bien se encuentran dentro de los límites de referencia establecidos por la ATSDR (10-150 mg/kg), evidencian una acumulación significativa en comparación con los valores de fondo. Al ampliar el estudio a matrices ambientales como suelos y plantas, se pone de manifiesto el impacto adverso de las actividades metalúrgicas y agrícolas sobre el ecosistema.

Si bien los datos revelaron un mayor consumo de granos de soja en la población infantil en comparación con la adulta, es crucial resaltar que la biodisponibilidad y los efectos tóxicos del plomo son significativamente mayores en niños. Como lo detallan Martins et al. (2016) y Rodríguez (2019), el sistema hematopoyético infantil es particularmente vulnerable a la unión irreversible del plomo a proteínas, lo que compromete su función incluso a niveles de exposición relativamente bajos.

Los estudios epidemiológicos actuales no respaldan una asociación causal entre el consumo de granos de soja y un incremento significativo en el riesgo individual de desarrollar cáncer. Sin embargo, la evidencia existente presenta heterogeneidad y las conclusiones deben interpretarse con cautela debido a las limitaciones inherentes a este tipo de investigación. Por otro lado, múltiples estudios, como los de Steenland et al. (2017) y Vera & Ivette (2021), sugieren que la concentración de plomo en orina podría ser un biomarcador independiente asociado con un mayor riesgo de mortalidad por cáncer.

Conclusiones

Los valores promedios obtenidos de la cuantificación por plomo en la muestra testigo y los mercados comercializados en el cantón Quevedo, sobrepasan los límites máximos permisibles según la norma nacional NTE INEN 452:2013 e internacional del (Codex Alimentarius y La legislación de la Unión Europea) con un promedio de $1,15 \pm 0,13 \text{ mg.kg}^{-1}$. Al evaluar el riesgo toxicológico a partir de las concentraciones del plomo, tanto para la población de niños como adultos, se demostró que en cuanto a lo Dosis de Exposición (DE) resultó estar por debajo de las dosis establecidos seguro según la Evaluación para Medios Ambientales siendo valores inferiores a $0,006 \text{ mg/kg/día}$, lo que sugiere que las condiciones locales son seguras de ser expuestas; aunque el Índice de Peligro (IP) sugiere la ausencia de riesgo, los resultados destacan que los niños exhiben un índice de exposición más elevado al contaminante tóxico presente en el consumo de granos de soja en comparación con los adultos, el Margen de Exposición (ME) muestra que hay un resaltante margen de seguridad y los valores de Riesgo Individual por Cáncer (RIC) resultaron ser inferiores a $0,000001$ tanto para población infantil como adulta, lo que indica una probabilidad extremadamente baja de desarrollar esta enfermedad asociada a la exposición evaluada.

Declaración de Conflicto de Intereses

Los autores declaran con respecto al documento, no tener conflicto de intereses financieros ni personales que puedan influir inapropiadamente en el desarrollo de este artículo.

Referencias

- Aguilar, D., Álava, D., Burbano, J., Calahorrano, O., Garcés, A. L., Jácome, D., Pijal, A. B., Simbaña, B., & Yépez, R. (2018). *Informe de resultados estimación de superficie sembrada de arroz (Oryza sativa L.), maíz amarillo duro (Zea mays L.) Y soya (Glycine max) del primer período (época lluviosa) año 2018, en las provincias de: GUAYAS, Los Ríos, Manabí, Santa Elena, Loja y El Oro*. Dirección de Investigación y Generación de Datos Multisectoriales Coordinación General Del Sistema de Información Nacional Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Alimentarius, C. (1995). *Norma general del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos* (CODEX STAN 193-1995).
- Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). (2018). *Muestreo de alimentos*.
- Balzarini, M., Gonzalez, L. A., & Tablada, M. (2008). *Infostat*: manual del usuario. <https://www.researchgate.net/publication/283491340>
- Bravo Carlos, P., & Quispe Liduvina, S. (2018). Metales pesados: Fuentes y su toxicidad sobre la salud humana Heavy Metals: Sources and his toxicity about human health. *Revista de Ciencia*, 2.
- Blanco, A., Salazar, M. J., Vergara Cid, C., Pignata, M. L., & Rodriguez, J. H. (2017). Accumulation of lead and associated metals (Cu and Zn) at different growth stages of soybean crops in lead-contaminated soils: food security and crop quality implications. *Environmental Earth Sciences*, 76(4), 182. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6508-x>
- Díaz Barriga, F. (1999). *Metodología de identificación y evaluación de riesgo para la salud en sitios contaminados*. OPS/CEPIS/PUB/99.34. Organización Panamericana de la Salud.
- Díaz, O., Recabarren, E., Ward, J., & Villalobos, J. (2019). Metales pesados: aspectos ecológicos y tecnológico-alimentarios. *Contribuciones Científicas y Tecnológicas*, 84, 5–12.
- Chaoua, S., Boussaa, S., El Gharmali, A., & Boumezzough, A. (2019). Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 429–436. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.02.003>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2013). Norma NTE INEN 452:2013. *Cereales y leguminosas. Soya en grano. Requisitos*. Primera edición.

- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2015). *Metodología de construcción del agregado del consumo y estimación de línea de pobreza en el Ecuador. Quito.*
- Latimer, G. W., Jr. (Ed.). (2016). *Official methods of analysis of AOAC International* (20.^a ed.). AOAC International.
- Lucho-Constantino, C. A., Álvarez-Suárez, M., Beltrán-Hernández, R. I., Prieto-García, F., & Poggi-Varaldo, H. M. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environment International*, 31(3), 313–323. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.08.002>
- McKevith, B. (2004). Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin*, 29(2), 111–142. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2004.00418.x>
- Madhavan, S., Rosenman, K. D., & Shehata, T. (1989). Lead in soil: Recommended maximum permissible levels. *Environmental Research*, 49(1), 136–142. [https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(89\)80028-3](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(89)80028-3)
- Mao, F., Nan, G., Cao, M., Gao, Y., Guo, L., Meng, X., & Yang, G. (2018). The metal distribution and the change of physiological and biochemical process in soybean and mung bean plants under heavy metal stress. *International Journal of Phytoremediation*, 20(11), 1113–1120. <https://doi.org/10.1080/15226514.2017.1365346>
- Martins, E. et al. (2016) ‘Niveles de plumbemia en niños de 1 a 6 años en la región de La Plata, Argentina: Identificación de factores de riesgo de exposición al plomo’, *Archivos argentinos de pediatría*, 144(6), pp. 543–548.
- Mercado, M., García M. Eugenia and Quintanilla Jorge (2009) ‘Evaluación de los niveles de contaminación por plomo y arsénico en muestras de suelos y productos agrícolas procedentes de la región cercana al complejo metalúrgico Vinto. *Revista Boliviana de Química*, 26(2), pp. 101–110.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2022). *Intoxicación por plomo y salud*. Recuperado de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Orisakwe, O. E., Dagur, E. A., Mbagwu, H. O. C., & Udowelle, N. A. (2017). Lead levels in vegetables from artisanal mining sites of Dilimi River, Bukuru and Barkin Ladi north central Nigeria: Cancer and non-cancer risk assessment. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 18(3), 621–627. <https://doi.org/10.22034/APJCP.2017.18.3.621>

- Olórtogui, D. et al. (2020) Evaluación del riesgo toxicológico por exposición a plomo y cadmio en suelos de los alrededores del Parque Industrial Infantas, Los Olivos. *Ciencia e Investigación*, 23(2), pp. 9–13. <https://doi.org/10.15381/ci.v23i2.19376>.
- Pontificia Universidad Javeriana. (2013). *Procedimiento Operativo Estándar (POE) muestras de Testigos*.
- Ramírez, G., Gutiérrez, R., & García, P. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Real Academia Española. (2023). Testigo. En Diccionario de la Lengua Española (23.^a ed.). Recuperado de <https://dle.rae.es/testigo#sinonimosZfWvJyK>
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, M., & González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- Rodríguez, T. (2019). Comportamiento del plomo sérico en niños expuestos de la ciudad de Camagüey. *Revista Archivo Médico de Camagüey*, 23(1), pp. 64–74.
- 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>
- Steenland, K. et al. (2017) . A cohort mortality study of lead-exposed workers in the USA, Finland and the UK. *Occupational and Environmental Medicine*, 74(11), pp. 785–791. Available at: <https://doi.org/10.1136/oemed-2017-104311>.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment (pp. 133–164). In *Environmental Toxicology and Pharmacology* (Vol. 3). https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Unión Europea. (2003). Legislación de la Unión Europea de contaminantes químicos en productos alimentarios.
- USEPA. (1989). *Air quality criteria for lead: Supplement to the 1986 addendum*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/8-89/049F (NTIS PB91138420). Recuperado de <https://cfpub.epa.gov/ncea/isa/recordisplay.cfm?deid=45189>
- Vera, F. and Ivette, A. (2021) Enfermedades por exposición ocupacional a plomo: revisión sistemática exploratoria de la evidencia cualitativa y cuantitativa. *Revista San Gregorio*, 1(47), pp. 195–216.