

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i1.206>

Impacto ambiental por plomo en granos de soja (*Glycine max L.*) comercializados en el cantón Babahoyo, Ecuador

*Environmental impact of lead in soybean beans (*Glycine max l.*) commercialized in Babahoyo canton, Ecuador*

Roberto Johan Barragan Monrroy
roberto.barragan2014@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4682-5529>
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Carla Maria Sabando Cedeño
csabandoc2@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-0925-0159>
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Mayra Lisette Zapata Velasco
mayra.zapata@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1578-3776>
Universidad Estatal del Sur de Manabí

Ana Madelaine Macías Mendoza
madelaine.macias@educacion.gob.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8956-9476>
Unidad educativa Albertina Rivas Medina

Noelia Solange Coello Bajaña
ncoellob@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-4681-237X>
Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Artículo recibido: 15 abril 2024 -

Aceptado para publicación: 26 mayo 2024
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

Los elevados niveles de plomo en granos de soja conllevan un riesgo substancial para la salud humana, promoviendo el desarrollo de diversas patologías. Este estudio tuvo como objetivo primordial cuantificar las concentraciones de plomo y evaluar su impacto ambiental en granos de soja comercializados en el cantón Babahoyo, Ecuador. Se procedió a identificar los principales comerciales (C1S, C2S, C3S) y un área de cultivo para obtener una muestra testigo (TC4S). Las muestras recolectadas en triplicado durante un periodo de tres meses consecutivos, fueron enviadas a un laboratorio certificado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, en donde se aplicó la técnica de espectrometría de absorción atómica de llama, según el método "Standard Methods 3111B Modificado". Posteriormente, se contrastaron las concentraciones obtenidas con estándares nacionales e internacionales (NTE: INEN 452:2013, Unión Europea y *Codex*

Alimentarius) para determinar su conformidad con los límites máximos permitidos, así como el nivel máximo de exposición. Por último, se calculó el impacto ambiental utilizando una ecuación específica. Los resultados revelaron la existencia de contaminación, sin embargo, las concentraciones medias de plomo ($0,063 \pm 0,046 \text{ mg.kg}^{-1}$) en los granos de soja están dentro de los parámetros establecidos por las normativas, sin diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes puntos de venta y la muestra testigo. Además, se determinó que el impacto ambiental (-0,14; -0,035) generado por estas concentraciones no representa un daño significativo al entorno.

Palabras clave: metales tóxicos, cultivos alimentarios, seguridad alimentaria, espectrometría de absorción atómica

ABSTRACT

High levels of lead in soybeans pose a substantial risk to human health, promoting the development of various pathologies. The main objective of this study was to quantify lead concentrations and evaluate their environmental impact in soybeans marketed in Babahoyo, Ecuador. We proceeded to identify the main commercial soybeans (C1S, C2S, C3S) and a cultivation area to obtain a control sample (TC4S). The samples, collected in triplicate over a period of three consecutive months, were sent to a laboratory certified by the Ecuadorian Accreditation Service, where the flame atomic absorption spectrometry technique was applied, according to the "Standard Methods 3111B Modified" method. Subsequently, the concentrations obtained were contrasted with national and international standards (NTE: INEN 452:2013, European Union and *Codex Alimentarius*) to determine their conformity with the maximum permissible limits, as well as the maximum level of exposure. Finally, the environmental impact was calculated using a specific equation. The results revealed the existence of contamination, however, the average concentrations of lead ($0.063 \pm 0.046 \text{ mg.kg}^{-1}$) in soybeans are within the parameters established by the regulations, with no statistically significant differences between the different outlets and the control sample. In addition, it was determined that the environmental impact (-0.14; -0.035) generated by these concentrations does not represent a significant damage to the environment.

Keywords: toxic metals, food crops, food safety, atomic absorption spectrometry

INTRODUCCIÓN

La presencia de elementos tóxicos en aguas, suelos y atmósfera representa una grave amenaza para la seguridad de los alimentos y la salud pública, tanto a nivel mundial como local (Zeeshanur y Singh, 2019). La industrialización a escala global, asociada a actividades humanas, contribuye a la acumulación de estos elementos en el suelo (Abdi et al., 2020; Sharma et al., 2018; Zhao et al., 2015). Se considera que el excesivo empleo de productos químicos agrícolas, que frecuentemente contienen niveles elevados de metales, es una de las principales fuentes de contaminación en la agricultura (Abdi et al., 2020; Proshad et al., 2020; Sharma et al., 2018). La plantación de cultivos alimentarios en suelos contaminados con metales tóxicos puede resultar en la acumulación de estos elementos en diversas partes de la planta, incluyendo aquellas destinadas al consumo humano (Sharma et al., 2018). La soja (*Glycine max L.*) es un cultivo de gran importancia a nivel global debido a su alto contenido de nutrientes, como grasas y proteínas de calidad superior, así como a su relevancia económica (Liu et al., 2022; Mao et al., 2018). Sin embargo, la contaminación por metales tóxicos en esta leguminosa es un tema de gran preocupación porque se ha demostrado que es altamente tolerable a niveles elevados de plomo (Mao et al., 2018).

El plomo no desempeña alguna función biológica en el organismo humano (Cândido et al., 2021; Ijomone et al., 2020). De acuerdo con la Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR), el plomo ocupa el segundo puesto en la lista de prioridades de sustancias para el año 2022, clasificándose como un metal carcinogénico y tóxico (ATSDR, 2022; Bawa, 2023). Por consiguiente, la salud humana puede estar en riesgo incluso ante la acumulación mínima de este metal en el cuerpo (Abdi et al., 2020; Bawa, 2023). La exposición al plomo puede afectar el desarrollo del sistema nervioso, especialmente en períodos de crecimiento, aumentando la susceptibilidad a su toxicidad en comparación con los adultos. Esto establece una relación directa entre la presencia de sustancias tóxicas en el entorno y el incremento de casos de TEA (Trastorno del Espectro Autista) durante la fase perinatal (Aljumaili et al., 2021; Ijomone et al., 2020; Rashaid et al., 2021). De acuerdo con Avalos (2023), el plomo está vinculado a diversas enfermedades crónicas en humanos, como trastornos autoinmunes, neurológicos, renales, cardiovasculares, óseos, entre otros.

En Ecuador, la siembra de soja se concentra principalmente durante la temporada seca, mientras que en la temporada lluviosa se incorpora como parte de la rotación de cultivos. Según los datos de la Coordinación General de Información Nacional Agropecuaria para el período anterior (2022), se sembraron 3.857 hectáreas de soja a nivel nacional. En la provincia de Los Ríos, la superficie sembrada se estimó en 1.713 hectáreas, lo que representó el 44,40% del total nacional. Babahoyo, como el segundo cantón con mayor extensión de cultivos de soja, alcanzó

las 576 hectáreas (Calahorrano et al., 2022). Estos datos subrayan la relevancia del cultivo de soja en la región estudiada y resaltan la necesidad de evaluar los niveles de plomo en sus granos.

La espectrometría de absorción atómica es la opción comúnmente más empleada para la cuantificación de metales, debido a su velocidad, simplicidad, fiabilidad y costo accesible, pudiendo implementarse a través de diferentes enfoques como el horno de grafito, el generador de hidruros o los métodos basados en llama. Se ha comprobado que esta técnica es altamente específica, especialmente en casos donde las líneas de absorción son notoriamente estrechas (López et al., 2017).

El objetivo principal de este estudio fue cuantificar las concentraciones de plomo y su impacto ambiental en granos de soja (*Glycine max* L.) de diferentes establecimientos comerciales del cantón Babahoyo a través de la técnica de espectrometría de absorción atómica de llama. Estos datos proporcionaron una referencia fundamental para evaluar el impacto ambiental causado por este metal tóxico, además son relevantes para orientar la formulación de políticas públicas y acciones destinadas a mejorar la gestión ambiental y la seguridad alimentaria en la región.

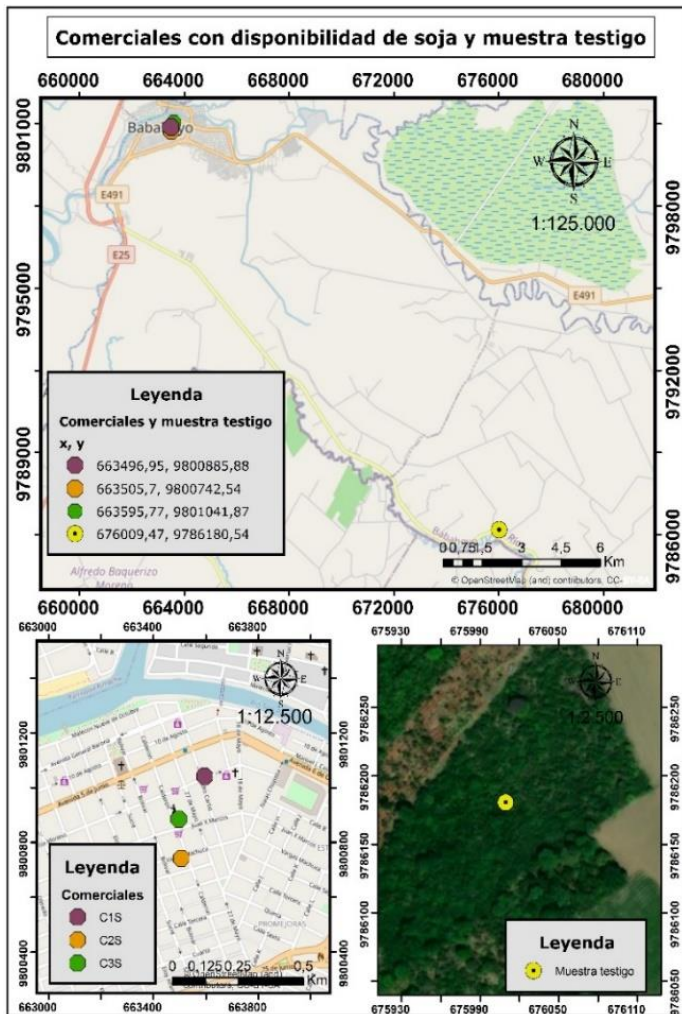
MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y muestreo

El estudio se desarrolló en Babahoyo, Los Ríos, Ecuador, con coordenadas X:662994,99; Y:9800766,83, como se indica en la figura 1. Babahoyo, capital de la provincia de Los Ríos y una de las ciudades más significativas y pobladas, se encuentra en el centro de la región Costa, a 8 metros sobre el nivel del mar, con un clima lluvioso tropical. Según el censo de 2010 del INEC, la población es de 153.776 habitantes. De acuerdo al código alimentario latinoamericano, se recomienda el muestreo duplicado o triplicado para el análisis de muestras alimentarias (ANMAT, 2018). Por tal razón, se realizaron reconocimientos en los principales comercios de Babahoyo con granos de soja disponibles y se recolectaron muestras de granos mensualmente de cada comercial (octubre, noviembre y diciembre), triplicando cada muestreo, para comparar las concentraciones de plomo, utilizando el método analítico "Standard methods 3111B Modificado" (AOAC INTERNATIONAL, 2016). Además, se tomaron muestras testigo triplicadas de los cultivos de soja para analizar la contaminación por plomo después de la cosecha y comercialización. Estas muestras se almacenaron y etiquetaron adecuadamente hasta su envío al laboratorio acreditado "LABOLAB".

Figura 1

Comerciales con disponibilidad de soja y muestra testigo



Las ubicaciones geográficas de los comercios y del cultivo de soja están representadas por puntos de diferentes colores. Donde ① corresponde al comercial 1 (C1S), ② al comercial 2 (C2S), ③ al comercial 3 (C3S) y ④ al cultivo de soja (TC4S).

Cuantificación de plomo en granos de soja comercializados en el cantón Babahoyo, Ecuador

Método analítico

Luego de la recolección de las muestras de granos de soja, estas fueron remitidas al laboratorio "LABOLAB", cuya certificación por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano garantiza el cumplimiento de la norma ISO/IEC 17025. Se llevó a cabo la cuantificación del plomo utilizando la técnica de espectrometría de absorción atómica, siguiendo los parámetros establecidos por el método modificado "Standard methods 3111B".

Calibración del instrumento

Se prepararon soluciones patrón de plomo con concentraciones específicas (0,15 mg.L⁻¹; 0,20 mg.L⁻¹; 0,50 mg.L⁻¹; 1,0 mg.L⁻¹ y 2,00 mg.L⁻¹) a partir de soluciones concentradas de 100 mg.L⁻¹. Con el propósito de establecer curvas de calibración o trabajo, se empleó HNO₃ al 1%

v/v como solución blanco para las mediciones. Posteriormente, se utilizó el software del espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 200, de Perkin Elmer®, para programar el método. Esto permitió la lectura de los patrones acuosos de la curva de calibración y de las muestras preparadas a partir de los granos de soja, garantizando así la precisión y la reproducibilidad de los resultados obtenidos en el análisis.

Tratamiento de las muestras

Para la adecuada preparación de las muestras sólidas de granos de soja, se emplearon diversos procedimientos. Inicialmente, los granos fueron triturados utilizando un crisol de porcelana, seguido de la medición precisa de 2 g de la muestra triturada mediante una balanza analítica. Posteriormente, las muestras fueron sometidas a una temperatura de 550°C durante un lapso prolongado de tres horas en una mufla. Una vez calcinadas, se procedió a disolverlas en 5 ml de una solución de HNO₃ al 1%, y luego se transfirió la solución resultante a un matraz aforado de 10 ml y se ajustó el volumen con la misma disolución de ácido nítrico. Finalmente, se llevaron a cabo las lecturas necesarias para el análisis correspondiente.

Análisis de las muestras

Se realizaron los análisis mediante nebulización directa en una llama de acetileno aire. Posteriormente, antes de la lectura, se limpió el nebulizador aspirando HNO₃ al 1%. Luego, se aspiró la disolución de las muestras y se determinó su absorbancia y concentración (mg L⁻¹) utilizando el software, basándose en la curva de calibración previamente establecida. En caso de que las muestras excedieran el rango de calibración, se realizaron diluciones apropiadas siempre utilizando HNO₃ al 1%.

Análisis estadístico

Para determinar posibles diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en la concentración de plomo entre los distintos mercados y la muestra testigo, se llevó a cabo una prueba de normalidad (Shapiro Wilks), seguida de un análisis de comparación de medias mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis. Estos análisis se realizaron utilizando el software estadístico INFOSTAT.

Comparación de las concentraciones de plomo con la normativa nacional y normativas internacionales

Con el propósito de identificar la presencia de contaminación y 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 1

Nivel máximo y límites máximos permisibles establecidos por la normativa nacional e internacionales

Nivel máximo y límites máximos permisibles establecidos		
Normativa	Cantidad	Unidad
NTE INEN 452:2013	0,2	mg.kg ⁻¹
Unión Europea	0,2	mg.kg ⁻¹
<i>Codex Alimentarius</i>	0,1	mg.kg ⁻¹

Las concentraciones máximas de plomo estipuladas por las normativas se expresan en mg.kg⁻¹. Las normativas consideradas son: la Norma Técnica Ecuatoriana NTE Inen 452: 2013 (Tercera revisión, 2013); la Legislación de la Unión Europea sobre Contaminantes Químicos en Productos Alimentarios, 2003; y la Norma General del Codex para los Contaminantes y las Toxinas en los Alimentos y Piensos (Codex STAN 193-1995), 2009.

Impacto ambiental por plomo en granos de soja comercializados en el cantón Babahoyo, Ecuador

Para determinar el impacto ambiental en las concentraciones de plomo presentes en los granos de soja comercializados en el cantón Babahoyo, se tomó como base la ecuación establecida por Arada et al. (2017). Cuando el resultado del impacto ambiental es positivo (+), indica un daño ambiental severo; en contraste, cuando es negativo (-), no implica un daño severo al ambiente.

Ecuación 1. Impacto ambiental

$$(\text{Impacto ambiental} = P_A - P_{NC})$$

Donde:

P_A: Concentraciones determinadas en las muestras de soja.

P_{NC}: Valor del parámetro reportado en las normativas (NTE INEN 452:2013, *Codex Alimentarius*, Unión Europea).

Análisis estadístico

Para determinar posibles diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el impacto ambiental cuantificado a partir de los LMP (Límites máximos permitidos) y NM (Nivel Máximo), se llevó a cabo un análisis de normalidad (Shapiro Wilks) seguido de una prueba de Kruskal Wallis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

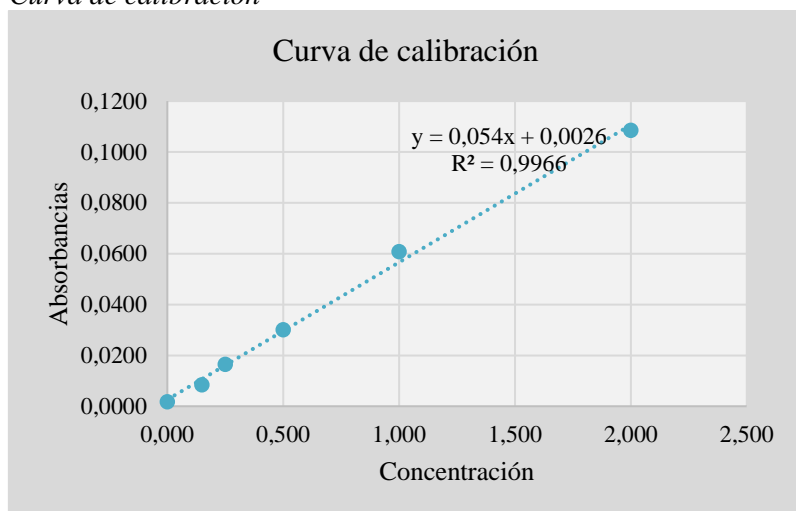
Cuantificación de plomo en granos de soja

Curva de calibración

Para la determinación de la concentración de plomo, la curva de calibración lineal tuvo un coeficiente de correlación de $y = 0,054x + 0,0026$ ($R = 0,9980$), y un R^2 de 0,966, como se ilustra en la figura 2. El coeficiente de correlación (R) indica una alta concordancia entre los valores

experimentales y los predichos por la curva de calibración, resaltando la precisión del método empleado. Se estableció un límite de detección de $0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ y un límite de cuantificación de $0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$

Figura 2
Curva de calibración



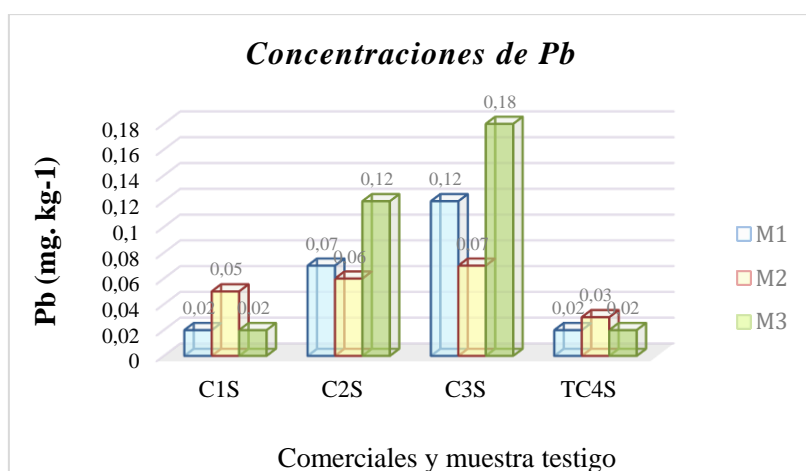
Las concentraciones se expresan en mg.kg^{-1} , mientras que las absorbancias se midieron en ppm.

Concentraciones de plomo

Las concentraciones medias de plomo en los granos de soja provenientes de los distintos comercios de Babahoyo fueron las siguientes: $0,03 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ (C1S), $0,08 \pm 0,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ (C2S), $0,12 \pm 0,06 \text{ mg.kg}^{-1}$ (C3S), y $0,02 \pm 0,01 \text{ mg.kg}^{-1}$ para la muestra testigo (TC4S). Según lo evidenciado en la figura 3, se observa que la concentración más alta se registró en el comercial 3 (C3S), mientras que la más baja se identificó en la muestra testigo proveniente de los cultivos (TC4S)

Figura 3

Concentraciones de plomo en granos de soja comercializados en el cantón Babahoyo.



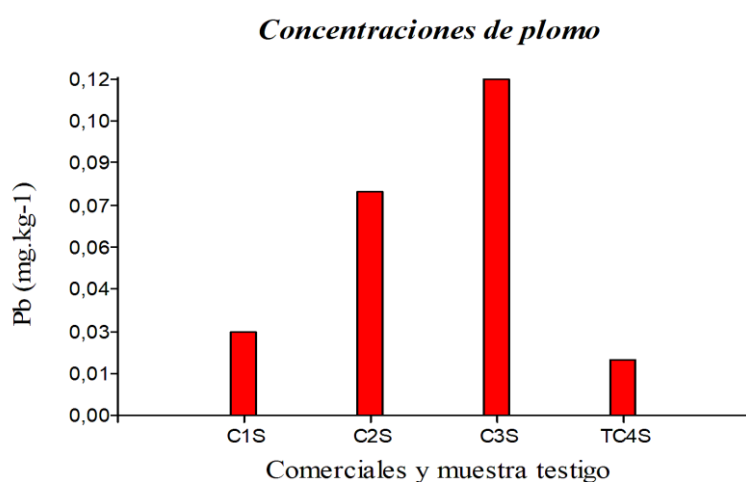
Las concentraciones de plomo en los granos de soja se expresan en mg.kg^{-1} . Donde ■ corresponde al muestreo 1, ■ corresponde al muestreo 2 y ■ corresponde al muestreo 3.

Análisis estadístico

De acuerdo con el análisis de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilks, se encontró que los datos exhiben una distribución anormal, con un valor de significancia de $p=0,0304$. Esto llevó a la aplicación de una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para identificar las diferencias en las concentraciones de plomo en granos de soja entre distintos comerciales en Babahoyo. Los resultados de esta prueba ($H=3,00$; $p=0,99$) indican que no hay diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones mencionadas tal como se evidencia en la figura 4.

Figura 4

Análisis estadístico de las concentraciones de plomo en granos de soja de los comerciales y del cultivo



Las concentraciones medias de plomo determinadas en los granos de soja se expresan en mg.kg^{-1} en el eje y, mientras que los comerciales y muestra testigo se figuran en el eje x.

Los hallazgos de este estudio reflejan similitudes con la investigación llevada a cabo por Barragán et al. (2022), donde se evaluaron los niveles de plomo en granos de soja comercializados en el cantón Quevedo. Al igual que en dicho estudio, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de plomo. Además, se observaron concentraciones más altas de plomo en un mercado específico, alcanzando $2,06 \pm 1,74 \text{ mg.kg}^{-1}$, mientras que la concentración mínima registrada fue de $0,02 \pm 0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$.

Se han llevado a cabo investigaciones que respaldan la dispersión de plomo en el aire, mayormente atribuida a las emisiones de fuentes móviles (Garduño et al., 2019). En este contexto, los alimentos, como los granos de soja, están expuestos a la contaminación por plomo durante su transporte, debido a condiciones inapropiadas en este proceso. Además, la presencia de plomo en los alimentos, particularmente debido a prácticas de empaquetado, desempeña un papel importante en este tema. Esta situación podría explicar por qué las concentraciones de plomo encontradas en la muestra testigo realizada en Babahoyo son algo menores que las detectadas en productos comerciales.

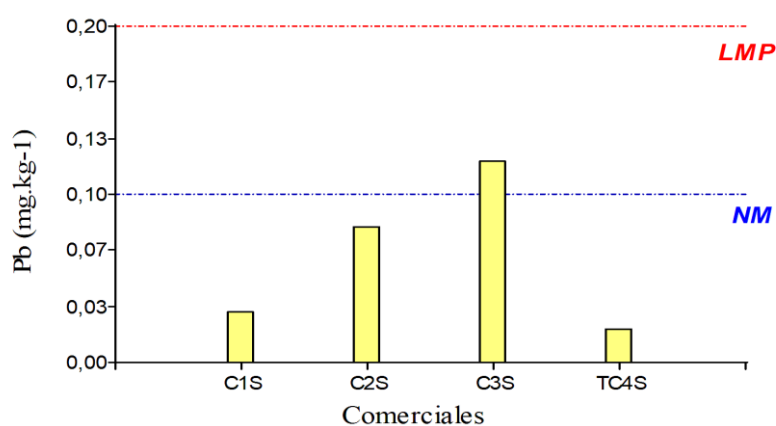
Comparación de las concentraciones de plomo con las normativas nacionales e internacionales

Los niveles de plomo cuantificados en los granos de soja de las muestras extraídas de C1S, C2S y TC4S, en relación con las normativas locales (NTE:INEN 452:2013) e internacionales (Unión Europea y *Codex Alimentarius*), indican conformidad con los requisitos establecidos. No obstante, la detección de plomo en cualquier cantidad implica la presencia de contaminación. Por otro lado, la evaluación realizada en los granos de soja del comercial 3 (C3S) implica un riesgo superior para la salud pública al superar el límite máximo fijado por el *Codex Alimentarius* ($0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$) Este escenario se visualiza de manera gráfica en la figura 5.

Figura 5

Concentraciones de plomo en los diferentes comerciales y en la muestra testigo comparados con los límites máximos permisibles (NTE INEN:452:2013; Unión Europea) y nivel máximo (*Codex Alimentarius*)

Pb en granos de soja: Comparativa con LMP y NM



Las líneas de puntos representan los parámetros reportados por las normativas. La línea de puntos azul indica el nivel máximo ($0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$) y la línea de puntos roja señala el límite máximo permitido ($0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$).

El elevado nivel del comercial 3 (C3S) que supera los estándares, podría tener su origen en diversos factores, como la contaminación ambiental proveniente de actividades humanas o procesos naturales, como se ha señalado en estudios recientes (Abdi et al., 2020; Ali y Khan, 2019; Cândido et al., 2021; Mao et al., 2018). Por ejemplo, se ha observado que la meteorización de rocas puede contribuir a este fenómeno (Cândido et al., 2021). En este contexto, el suelo desempeña un papel crucial al actuar como medio de transporte para la acumulación de estos elementos en las plantas, incluidos los cultivos destinados al consumo humano, en específico la soja (Sharma et al., 2018).

En un estudio reciente sobre la contaminación por plomo en cereales, se descubrió que, en Pakistán, varios cereales de consumo común presentan niveles de plomo que exceden los estándares internacionales de seguridad alimentaria establecidos por la OMS (Hussain et al.,

2023). En comparación con la presente investigación, donde solo un establecimiento comercial mostró concentraciones de plomo por encima de los límites permitidos, el riesgo para la salud en Pakistán es significativamente mayor. Esto sugiere que la población en Pakistán enfrenta una amenaza más alta de exposición al plomo a través de su dieta diaria.

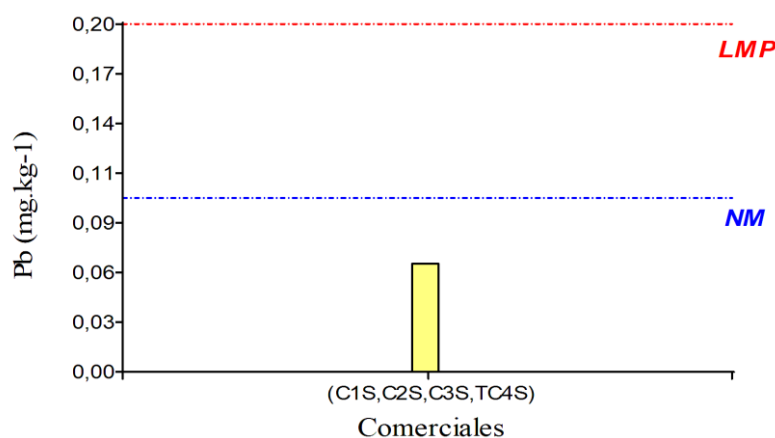
Desde una perspectiva más general, aunque el promedio de las concentraciones de plomo en los granos de soja del cantón Babahoyo ($0,063 \pm 0,046 \text{ mg.kg}^{-1}$) cumple con los niveles máximos establecidos por el *Codex Alimentarius*, la legislación de la Unión Europea y la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 452:2013, su presencia indica contaminación ambiental (Barragán et al., 2022). Por consiguiente, la conformidad normativa no elimina las preocupaciones sobre la calidad ambiental y la salud pública, puesto que incluso pequeñas cantidades de plomo pueden ser perjudiciales para organismos vivos y ecosistemas.

Estos hallazgos resaltan la importancia de una vigilancia continua y medidas preventivas para abordar los riesgos asociados con la contaminación por plomo en la cadena alimentaria y el entorno local. Estos resultados están representados en la figura 6.

Figura 6

Concentraciones generales de plomo con los Límites Máximos Permisibles (NTE INEN:452:2013; Unión Europea) y Nivel Máximo (Codex Alimentarius)

Promedio general de Pb: Comparativa con LMP y NM



Las líneas de puntos representan los parámetros reportados por las normativas. La línea de puntos azul indica el nivel máximo (0,1 mg/kg) y la línea de puntos roja señala el límite máximo permitido (0,2 mg/kg).

El plomo, al acumularse en los granos de soja, representa un riesgo significativo para la salud humana cuando se consume. La ingesta de plomo puede resultar en diversas enfermedades, cuya manifestación está relacionada con la cantidad presente en el organismo, afectando sistemas, órganos y tejidos (Poma, 2013). La exposición al plomo puede causar problemas neurológicos, como disminución del coeficiente intelectual y problemas de desarrollo cognitivo en niños, así como hipertensión y enfermedades renales en adultos (Rubio et al., 2023).

A pesar de que el presente estudio indica que la acumulación de plomo en los granos de cereales cumple con los estándares establecidos por las normativas y por lo tanto no conlleva riesgos para la salud humana a corto plazo, existe la preocupación de que incluso niveles considerados seguros pueden tener efectos adversos a largo plazo en niños. Investigaciones han demostrado que la exposición al plomo, aunque dentro de límites permitidos, puede afectar negativamente la salud cognitiva de los niños. Un análisis en "Environmental Health Perspectives" resalta que no hay un nivel seguro de exposición al plomo para el desarrollo infantil, sugiriendo la necesidad de vigilancia continua y medidas preventivas rigurosas (Neuwirth et al., 2022).

Estos hallazgos resaltan la importancia de una vigilancia continua y la implementación de medidas preventivas para minimizar la contaminación por plomo en la cadena alimentaria y el entorno local. Las autoridades deben reforzar las regulaciones existentes y promover prácticas agrícolas y de procesamiento más seguras para garantizar la seguridad alimentaria y la salud pública (Aslam et al., 2021).

Impacto ambiental por plomo en granos de soja comercializados en el cantón Babahoyo, Ecuador

En la Tabla 2 se resume la evaluación cuantitativa del impacto ambiental del plomo en Babahoyo, utilizando las concentraciones obtenidas en las muestras de comerciales y en la muestra de control (muestra testigo). Como se observa, los parámetros característicos de las muestras comerciales son inferiores a los LMP establecidos por la NTE:INEN 452:2013 y las directrices de la Unión Europea, lo que da resultado a impactos negativos, y por lo tanto no representan daños severos en el área de estudio. Aunque el impacto ambiental es negativo en Babahoyo y no alcanza niveles severos, es importante señalar que, dentro de los impactos negativos registrados, el cálculo basado en las concentraciones del comercial 3 (C3S) muestra el valor más cercano a ser positivo, con -0,08 mg/kg. Por otro lado, el impacto ambiental derivado de la muestra de testigo es menor en comparación con los otros impactos identificados.

Tabla 2

Impacto ambiental del plomo cuantificado mediante la NTE:INEN 452:2013 y las directrices de la Unión Europea

Elem	P _A (mg. kg ⁻¹)				P _{NC} (mg. kg ⁻¹)	Impacto Ambiental			
	C1S	C2S	C3S	TC4S		C1S	C2S	C3S	TC4S
Pb	0,03	0,08	0,12	0,02	0,2	-0,17	-0,12	-0,08	-0,18

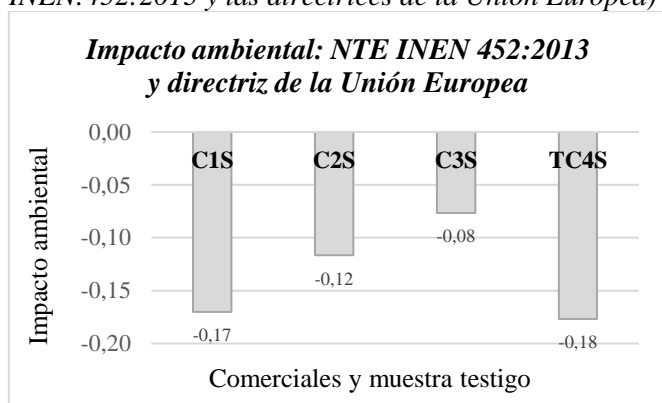
El impacto ambiental se muestra en valores negativos. En la evaluación, PA representa las concentraciones de plomo encontradas y P_{NC} corresponde al valor del parámetro según las normativas.

Análisis estadístico

En la figura 7 se visualiza el impacto ambiental derivado de la presencia de plomo en los granos de soja de Babahoyo. Tras la evaluación mediante la prueba de Shapiro-Wilks, se constató que los datos presentan una distribución anormal ($p=0,0304$). Por consiguiente, se llevó a cabo un análisis no paramétrico de Kruskal Wallis, el cual reveló la inexistencia de diferencias estadísticamente significativas en el impacto ambiental evaluado conforme a la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN:452:2013 y la legislación de la Unión Europea. Esto se sustenta en el resultado obtenido, donde ($H=3,00$ y $p=0,9999$).

Figura 7

Impacto ambiental en Babahoyo cuantificado mediante los límites máximos permitidos (NTE INEN:452:2013 y las directrices de la Unión Europea)



El impacto ambiental se representa en el eje X del plano cartesiano, ubicado en la parte inferior (negativa).

En la Tabla 3 se muestra la cuantificación del impacto ambiental del plomo en el área de Babahoyo. Generalmente, los indicadores de caracterización se encuentran por debajo del nivel máximo establecido por el *Codex Alimentarius*, lo que sugiere que el daño del plomo en los granos de soja de la mayoría de los comerciales no es severo. Sin embargo, en el caso del comercial 3 (C3S), se registró un valor positivo de +0,02, lo que indica un impacto ambiental considerable y un daño significativo en los granos de soja de este comercial. Este hallazgo resalta la necesidad de un monitoreo continuo para mitigar los riesgos ambientales y de salud pública asociados a la presencia de plomo.

Tabla 3

Impacto ambiental del plomo cuantificado mediante el *Codex Alimentarius*

Elem	P _A (mg. kg ⁻¹)				P _{NC}	Impacto Ambiental (mg. kg ⁻¹)			
	C1S	C2S	C3S	TC4S		C1S	C2S	C3S	TC4S
Pb	0,03	0,08	0,12	0,02	0,1	-0,07	-0,02	+0,02	-0,08

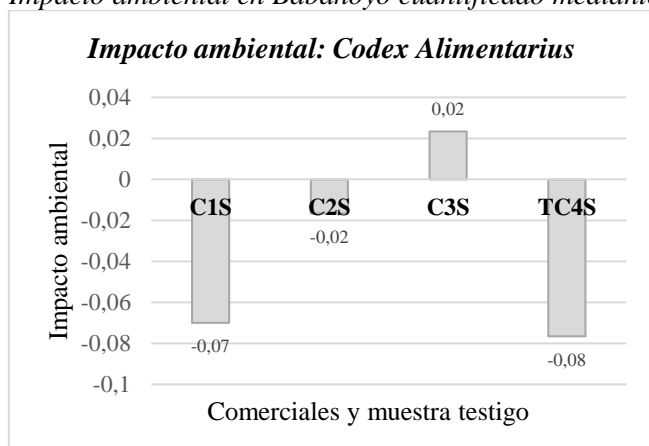
El impacto ambiental se muestra en valores negativos. En la evaluación, PA representa las concentraciones de plomo encontradas y P_{NC} corresponde al valor del parámetro según las normativas.

Análisis de datos

En la figura 8 se exhibe el impacto ambiental provocado por la presencia de plomo en los granos de soja que se comercializan en Babahoyo. Luego de someter los datos a la prueba de normalidad (Shapiro-Wilks), se determinó que las distribuciones son anormales ($P= 0,0304$). En consecuencia, se llevó a cabo un análisis no paramétrico de Kruskal Wallis, el cual evidenció la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en el impacto ambiental evaluado, conforme a los criterios establecidos por el *Codex Alimentarius*. Esto se sustenta en el valor de ($H=3,00$; $p=0,9999$), obtenido en la prueba.

Figura 8

Impacto ambiental en Babahoyo cuantificado mediante el nivel máximo (*Codex Alimentarius*)



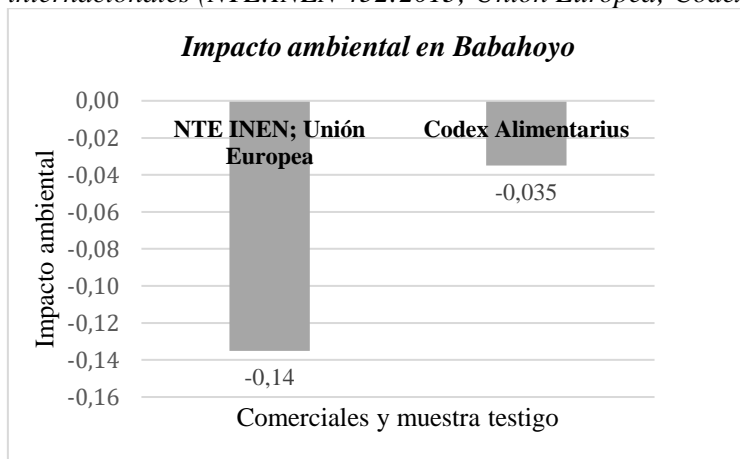
El impacto ambiental se representa en el eje X del plano cartesiano, ubicado en la parte inferior (negativa) para 3 resultados (-0,07; -0,02; -0,08) y en la parte superior (positiva) para un resultado (+0,02).

Impacto ambiental medio del plomo en granos de soja comercializados en Babahoyo

Los valores medios del impacto ambiental muestran dos perspectivas diferentes. Considerando los límites máximos permitidos, el promedio es de -0,14, pero al aplicar el nivel máximo, este se eleva a -0,035. La Figura 9 representa esta leve discrepancia, no obstante, es esencial señalar que estas disparidades surgen debido a la estricta normativa que establece el nivel máximo (*Codex Alimentarius*). Esta norma más rigurosa conlleva a una mayor incidencia de superación de los niveles permitidos de sustancias contaminantes. Sin embargo, en términos generales, el impacto que generan las concentraciones de plomo en granos de soja comercializado en Babahoyo no representan daños severos. Esto sugiere que, a pesar de las discrepancias normativas, la calidad e inocuidad de los granos no están mayormente afectadas.

Figura 9

Impacto ambiental medio en Babahoyo cuantificado mediante las normativas nacionales e internacionales (NTE:INEN 452:2013; Unión Europea; Codex Alimentarius)



El impacto ambiental medio se representa en el eje X del plano cartesiano, ubicado en la parte inferior (negativa).

La presencia de plomo en el grano de soja afecta su calidad nutricional al reducir sus propiedades beneficiosas (Ali y Khan, 2019; Mao et al., 2018),

Un estudio realizado por Arada et al., (2017) proporcionó una visión paralela en cuanto a los resultados al evaluar el impacto ambiental del plomo utilizando concentraciones analizadas en pozos de agua. Los resultados obtenidos revelaron que el plomo ocasionaba impactos negativos (-0,0006; -0,040), por lo tanto, no representaba un daño severo o significativo en el área de estudio.

CONCLUSIONES

Las concentraciones promedio de plomo en los granos de soja de Babahoyo, que se sitúan en $0,063 \pm 0,046$ mg/kg, están dentro de los límites permitidos por la Unión Europea, la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 452:2013 y el nivel máximo de la FAO en el Codex Alimentarius. A pesar de cumplir con estos estándares, estas mediciones indican la presencia de contaminación por plomo en los granos de soja, lo que plantea preocupaciones ambientales. Al analizar el impacto ambiental utilizando los LMP y NM, se observan resultados negativos (-), sugiriendo que las concentraciones de plomo en Babahoyo no ocasionan un daño ambiental significativo. En situaciones donde se aplican los límites máximos permitidos, se registra un promedio de impacto ambiental de -0,14, mientras que, al considerar el nivel máximo, este valor se incrementa a -0,035. Este análisis resalta la importancia de monitorear y controlar la contaminación por plomo para garantizar la salud ambiental y pública.

REFERENCIAS

- Abdi, L., Molaee Aghaee, E., Nazmara, S., Alipour, M. reza, Fakhri, Y., & Mousavi Khaneghah, A. (2020). Potentially toxic elements (PTEs) in corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) samples collected from Tehran, Iran: a health risk assessment study. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 102(16), 4640-4651.
<https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1786548>
- Ali, H., & Khan, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs—Concepts and implications for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(6), 1353-1376. <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1469398>
- Aljumaili, O. I., El-Dein A. Ewais, E., El-Waseif, A. A., & AbdulJabbar Suleiman, A. (2021). Determination of hair lead, iron, and cadmium in a sample of autistic Iraqi children: Environmental risk factors of heavy metals in autism. *Materials Today: Proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.017>
- ANMAT. (2018). Muestreo de alimentos. En *Anmat*.
http://www.anmat.gov.ar/portafolio_educativo/pdf/cap11.pdf
- Aoac INTERNATIONAL. (2016). *Official Methods of Analysis* (J. George W. Latimer (ed.)).
- Arada, M., Garrido, D., & Acebal, A. (2017). *Evaluación de metales pesados e impacto ambiental en los pozos “ Rive Fuente ” y “ Bárbara ” del poblado El Cobre Evaluation of heavy metals and environmental impact in wells “ Rive Fuente ” and “ Barbara ” of the town El Cobre Introducción Los metales pe.* 30(1), 68-76.
- Aslam, M., Aslam, A., Sheraz, M., Ali, B., Ulhassan, Z., Najeeb, U., Zhou, W., & Gill, R. A. (2021). Lead toxicity in cereals: Mechanistic insight into toxicity, mode of action, and management. *Frontiers in Plant Science*, 11, 587785.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.587785>
- ATSDR. (2022). *Lista de sustancias prioritarias de la ATSDR*.
<https://www.atsdr.cdc.gov/SPL/#2022spl>
- Avalos, Y. (2023). Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. *Rev. Investigaciones ULCB. J*, 10(2), 59-68.
<https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.006>
- Barragán, R., Bravo, L., & Torres, J. (2022). Cuantificación de cadmio y plomo en granos de soja (*Glycine Max*) comercializados en el cantón Quevedo, Ecuador. *Universidad Técnica de Manabí*, 7, 37-50. <https://doi.org/https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4242>
- Bawa, U. (2023). Heavy metals concentration in food crops irrigated with pesticides and their associated human health risks in Paki , Kaduna State , Nigeria irrigated with pesticides and their associated. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1).

<https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2191889>

- Calahorrano, O., Collaguazo, J., Enríquez, M., Leiva, D., Palacios, F., Pijal, A. B., Simbaña, B., Villarreal, W., Yépez, R., & Zurita, M. (2022). *Estimación de superficie sembrada de los cultivos de arroz (Oryza sativa L.), maíz amarillo duro (Zea mays L.) y soya (Glycine max) del primer periodo (época lluviosa) año 2022, en las provincias de: Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena, Loja, El Oro, Co.*
- Cândido, G. S., Lima, F. R. D., Vasques, I. C. F., Souza, K. R. D., Martins, G. C., Pereira, P., Engelhardt, M. M., Reis, R. H. C. L., & Marques, J. J. (2021). Lead effects on sorghum and soybean physiology in oxisols. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(2), 260-274. <https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1723004>
- Guardiño, C., Guardiño, M. A., Mendiola, P., Vences, J., Zetina, V., Martínez, O. ., & Ramos, M. (2019). Fuentes de contaminación por plomo en alimentos , efectos en la salud y estrategias de prevención. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1).
- Hussain, S., Khan, A., & Ali, S. (2023). Heavy Metal Contamination in Staple Cereals: A Case Study in Pakistan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 331-345. doi:10.1007/s10661-022-09745-0
- Ijomone, O. M., Olung, N. F., Akingbade, G. T., Okoh, C. O. A., & Aschner, M. (2020). Environmental influence on neurodevelopmental disorders: Potential association of heavy metal exposure and autism. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 62, 126638. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126638>
- Legislacion de la Unión Europea de Contaminantes Químicos en Productos Alimentarios, 1 (2003). <http://www.mcx.es/plaguicidas/espanol.asp%0ALEGISLACION>
- Liu, L., Chen, X., Hao, L., Zhang, G., Jin, Z., Li, C., Yang, Y., Rao, J., & Chen, B. (2022). Traditional fermented soybean products: processing, flavor formation, nutritional and biological activities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(7), 1971-1989. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1848792>
- López, E. P., Murillo, C. B., Rica, U. D. C., Grecia, R. De, & Rica, C. (2017). Evaluación de tres métodos para la recuperación de metales pesados en fertilizantes. *UNED Research Journal*, 9(2), 257-265. <https://doi.org/https://doi.org/10.22458/urj.v9i2.1666>
- 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>
- Neuwirth, L. S., Cabañas, E., Cadet, P., Zhu, W., & Markowitz, M. E. (2021). Cereal and juice, lead and arsenic, our children at risk: A call for the FDA to re-evaluate the allowable limits of lead and arsenic that children may ingest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1621. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041621>

- Norma General del Codex para los Contaminantes y las Toxinas Presentes en los Alimentos y Piensos (Codex STAN 193-1995), 1 (2009).
https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/livestockgov/documents/CXS_193s.pdf
- Norma Técnica Ecuatoriana NTE Inen 452: 2013 Tercera revisión, (2013).
<https://dokumen.tips/documents/nte-inen-452-2012-soya.html>
- Poma, P. (2013). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(2), 120. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i2.1155>
- Proshad, R., Kormoker, T., Islam, M. S., & Chandra, K. (2020). Potential health risk of heavy metals via consumption of rice and vegetables grown in the industrial areas of Bangladesh. *Human and Ecological Risk Assessment*, 26(4), 921-943.
<https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1546114>
- Rashaid, A. H. B., Nusair, S. D., Alqhazo, M. T., Adams, J. B., Abu-Dalo, M. A., & Bashtawi, M. A. (2021). Heavy metals and trace elements in scalp hair samples of children with severe autism spectrum disorder: A case-control study on Jordanian children. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 67, 126790.
<https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126790>
- Rubio, C., Gomes, S., & Marques, M. P. M. (2023). Dietary exposure to toxic metals (Cd, Pb and Hg) from cereals and derivatives marketed in Madeira and the Azores. *Biological Trace Element Research*. 201. 1-10. doi:10.1007/s12011-023-03643-x.
- 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>
- Zeeshanur, R., y V. Singh. (2019). The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environ Monit Assess*, 191(419), 1-21.
<https://doi.org/10.1007/s10661-019-7528-7>
- Zhao, Y., G. Mao, H. Hongxia y L. Gao. (2015). Effects of EDTA and EDDS on Heavy Metal Activation and Accumulation of Metals by Soybean in Alkaline Soil. *Soil and Sediment Contamination*, 24(4), 353-367. <https://doi.org/10.1080/15320383.2015.962125>