

Artículo Original

**IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO A NIVELES DE PLOMO EN
AGUAS SUBTERRÁNEAS PARA CONSUMO HUMANO EN EL
CANTÓN BABA, ECUADOR**

**ENVIRONMENTAL IMPACT ASSOCIATED WITH LEAD LEVELS IN
GROUNDWATER FOR HUMAN CONSUMPTION
IN THE BABA CANTON, ECUADOR**

Roberto Johan Barragan Monrroy^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-4682-5529>
Noelia Solange Coello Bajaña¹ <https://orcid.org/0009-0007-4681-237X>
Carla Maria Sabando Cedeño¹ <https://orcid.org/0009-0001-0925-0159>
Ximena Paola Cervantes Molina¹ <https://orcid.org/0000-0002-2300-4288>
Luis Ramón Bravo Sánchez² <https://orcid.org/0000-0001-5756-6628>

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

² Facultad de Ciencias de la Vida, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

Recibido: Agosto 3, 2024; Revisado: Agosto 30, 2024; Aceptado: Septiembre 11, 2024

RESUMEN

Introducción:

El crecimiento demográfico y el desarrollo industrial han provocado un aumento alarmante en las fuentes de contaminación cercanas a los pozos de abastecimiento. Esta situación compromete la calidad de las aguas subterráneas, vitales para la población, resultando un incremento en el desarrollo de enfermedades crónicas en humanos.

Objetivo:

Evaluar el impacto ambiental asociado a las concentraciones de plomo en aguas provenientes de pozos de abastecimiento destinados al consumo humano en el cantón Baba, Ecuador.

Materiales y Métodos:

Se recolectaron muestras de agua por triplicado en cinco pozos de abastecimiento del cantón Baba y se cuantificaron las concentraciones de plomo mediante espectrometría de absorción atómica, comparándolas con parámetros establecidos en la Norma de Calidad Ambiental, la Directiva de la Unión Europea y la Guía de la Organización



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Roberto Barragan, Email: roberto.barragan2014@uteq.edu.ec



Mundial de la Salud. El impacto ambiental se determinó usando una ecuación validada científicamente por Arada y col., (2017).

Resultados y Discusión:

Las concentraciones de plomo en los cinco pozos de abastecimiento superaron tanto los parámetros nacionales como los internacionales ($0,793\pm 0,053$ mg/L). El impacto ambiental cuantificado basado en las normativas (Norma de Calidad Ambiental, Directiva UE y Guía de la OMS) fue de +0,78 y +0,74 evidenciando un daño severo a la calidad del agua de los pozos de abastecimiento con efectos adversos para la salud de la población.

Conclusiones:

La presencia de plomo en las aguas subterráneas del cantón Baba representa un grave riesgo ambiental y de salud, siendo necesario implementar medidas de mitigación y monitoreo continuo para proteger a la población.

Palabras clave: contaminación hídrica; espectrometría de absorción atómica; metales tóxicos; salud.

ABSTRACT

Introduction:

Population growth and industrial development have caused an alarming increase in the sources of contamination near water supply wells. This situation compromises the quality of groundwater, which is vital for the population, resulting in an increase in the development of chronic diseases in humans.

Objective:

To evaluate the environmental impact associated with lead concentrations in water from supply wells intended for human consumption in Baba canton, Ecuador.

Materials and Methods:

Water samples were collected in triplicate from five water supply wells in Baba canton and lead concentrations were quantified by atomic absorption spectrometry, comparing them with parameters established in the Environmental Quality Standard, the European Union Directive and the World Health Organization Guide. The environmental impact was determined using an equation scientifically validated by Arada et al., (2017).

Results and Discussion:

Lead concentrations in the five supply wells exceeded both national and international parameters (0.793 ± 0.053 mg/L). The quantified environmental impact based on the regulations (Environmental Quality Standard, EU Directive and WHO Guide) was +0.78 and +0.74 evidencing severe damage to the water quality of the supply wells with adverse effects on the health of the population.

Conclusions:

The presence of lead in the groundwater of Baba canton represents a serious environmental and health risk, being necessary to implement mitigation measures and continuous monitoring to protect the population.

Keywords: Water pollution; atomic absorption spectrometry; toxic metals; health.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el crecimiento demográfico y las actividades humanas han intensificado la contaminación de los recursos hídricos, especialmente en aguas subterráneas, esenciales para el desarrollo socioeconómico y la biodiversidad (Zuo y col., 2018). La contaminación por metales tóxicos, como el plomo (Pb), representa una grave amenaza global para la salud, con efectos adversos en sistemas, órganos y tejidos, siendo especialmente dañina para los niños, quienes pueden sufrir graves consecuencias en el desarrollo cerebral y nervioso (Barragan y col., 2023).

Ecuador destaca por su abundancia de agua dulce, con una disponibilidad de 22,500 m³ por habitante al año, significativamente por encima de los estándares recomendados por la Organización Mundial de la Salud (Salazar y col., 2020). Sin embargo, la provincia de Los Ríos enfrenta una situación crítica con 647,4 ha de cuerpos de agua altamente afectados por actividades antrópicas (GADPLR, 2019). Esta problemática ambiental resalta la importancia de la gestión del agua a nivel provincial, específicamente en el Cantón Baba.

El cantón Baba, en la provincia de Los Ríos, depende de cinco pozos de abastecimiento para el suministro de agua, de los cuales el 71,17% de la población depende para su consumo diario. La calidad del agua podría estar en riesgo debido a la posible presencia de metales tóxicos en los cuerpos de agua subterráneos (Montiel y col., 2023). Para cuantificar con precisión las concentraciones de plomo y detectar incluso pequeñas trazas, la técnica más viable y confiable es la espectrometría de absorción atómica con horno de grafito, ampliamente validada por su alta sensibilidad en estudios de contaminantes ambientales (Medvedev y col., 2020).

El objetivo de este estudio fue evaluar el impacto ambiental asociado a las concentraciones de plomo en aguas provenientes de pozos de abastecimiento destinados al consumo humano en el cantón Baba, Ecuador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización

La presente investigación se llevó a cabo en el cantón Baba, ubicado en la provincia de Los Ríos, que abarca una extensión territorial de 51,360 hectáreas. La ciudad de Baba es la cabecera cantonal, y las parroquias rurales incluyen Guare e Isla Bejucal (GADPLR, 2019). Los pozos de abastecimiento de agua para consumo humano están estratégicamente distribuidos en cinco puntos clave: La Carmela, Guare, Baba, Guayabo e Isla de Bejucal. La ubicación precisa de estos pozos se detalla en la figura 1.



Figura 1. Mapa de ubicación de los cinco pozos de abastecimiento de agua

2.2. Cuantificación de plomo

2.2.1. Muestras

El muestreo se realizó en la época lluviosa en los cinco pozos de abastecimiento de agua para consumo humano (La Carmela, Guare, Baba, Guayabo e Isla de Bejucal) en el mes de febrero, marzo y abril de 2024, recolectando 15 muestras de la fase de distribución, la más propensa a la contaminación por plomo debido a tuberías y conexiones (Levin y col., 2008). Las muestras fueron tomadas durante la captación, siguiendo lo establecido por Brindha y col., (2020), y selladas herméticamente para evitar contaminantes externos.

2.2.2. Método analítico

Una vez recolectadas las muestras fueron remitidas a un laboratorio debidamente acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana, conforme a las directrices establecidas en la norma ISO/IEC 17025. Este proceso aseguró la adecuada cuantificación del plomo mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA) con horno grafito, siguiendo los lineamientos específicos para las muestras de agua descritos en el “*Standard Methods 3111B Modificado*” (Barragan y col., 2023).

2.2.3. Calibración del instrumento

Para la calibración del instrumento, se utilizaron disoluciones patrón preparadas a partir de disoluciones estándar de plomo de 100 mg/L, con el fin de construir las curvas de calibración. Como blanco para las mediciones, se empleó ácido nítrico al 1% v/v. A continuación, se procedió a programar el método en el software del espectrofotómetro de absorción atómica modelo Analyst 300 de Perkin Elmer®. Esto se realizó para la lectura de los patrones acuosos de la curva de calibración (1 mg/L; 2,50 mg/L; 5,00 mg/L y 10 mg/L), así como de las muestras de agua previamente preparadas.

2.2.4. Tratamiento y análisis de las muestras

Las muestras de aguas se sometieron a un proceso de filtración utilizando un filtro de membrana de 0,45 µm para eliminar partículas suspendidas. Posteriormente, las muestras filtradas fueron acidificadas con ácido nítrico (HNO₃) concentrado hasta alcanzar un pH inferior a 2. Para finalizar, el matraz que contenía la muestra se enrasó con agua desionizada hasta un volumen de 100 mg/L, completando la preparación de la muestra para su posterior análisis. Para la medición por EAA se seleccionó la longitud de onda óptima para el plomo, establecida en 283,3 nm.

2.2.5. Determinación de los límites de detección y cuantificación

Para determinar el LOD y LOQ del plomo, se siguieron las recomendaciones de la guía ICH, (2022), empleando el método basado en la desviación estándar de la respuesta y la pendiente de la curva de calibración. El LOD y LOQ se calcularon utilizando las fórmulas recomendadas por la ICH, las cuales garantizan una estimación precisa de la capacidad del método para detectar y cuantificar el plomo en las muestras analizadas. El LOD y LOQ se calcularon utilizando las siguientes fórmulas:

$$LOD = \frac{3,3 \times SD}{S} \quad (1)$$

$$LOQ = \frac{10 \times SD}{S} \quad (2)$$

SD es la desviación estándar de las respuestas de las muestras en blanco (n=15), y S es la pendiente de la curva de calibración.

2.2.6. Análisis estadístico

Una vez obtenidas las concentraciones de plomo se verificó la normalidad de los datos mediante una prueba estadística de Shapiro-Wilks. Luego se empleó un análisis de varianza (ANOVA) seguidamente de una prueba de comparación múltiple de Tukey (Zamora y col., 2023) con la finalidad de identificar posibles diferencias estadísticamente significativas (p<0,05). El análisis se realizó utilizando el software estadístico INFOSSTAT (Balzarini y col., 2008).

2.3. Comparación con parámetros nacionales e internacionales

Se realizó una comparación de las concentraciones de plomo obtenidas mediante la cuantificación con los límites máximos permisibles establecidos por las normativas nacional e internacional, con el objetivo de evaluar el riesgo para la salud de la población. En el ámbito nacional, se tomó en cuenta la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua libro VI anexo 1. A nivel internacional, se consideraron los Estándares Europeos y las directrices de la OMS (Organización Mundial de la Salud) para la calidad del agua potable. Los parámetros establecidos por estas normativas se detallan en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles de plomo que establecen las normativas nacionales e internacionales

<i>Normativa</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
Libro VI, Anexo 1 de la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, 2015.	0,05	mg/L

Directiva (UE) 2020/2184 del parlamento europeo y del consejo. “Relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano”	0,05	mg/L
Directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993.	0,01	mg/L

2.4.Determinación del impacto ambiental del plomo en el agua para consumo humano

Para determinar si las concentraciones de plomo presentes en las muestras de agua de los cinco pozos de abastecimiento de agua para consumo humano generan un impacto positivo o negativo, se aplicó la siguiente ecuación establecida por Arada y col., (2017):

$$\text{Impacto ambiental} = P_A - P_{NC} \quad (3)$$

Donde:

P_A (mg/L): valor de las concentraciones de plomo determinadas en las muestras de agua.

P_{NC} (mg/L): valor del parámetro establecido en las normativas nacionales e internacionales.

Según Arada y col., (2017), cuando los valores resultantes de la ecuación son positivos, el impacto es positivo (+), lo que indica un daño ambiental severo. Por el contrario, cuando los valores son negativos, el impacto es negativo (-) y no representa un daño significativo al ambiente.

2.4.1. Análisis estadístico

Con la finalidad de identificar diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el impacto ambiental causado por la presencia de plomo, se realizó una prueba de normalidad (Shapiro-Wilks). Posteriormente, se compararon las medias del impacto ambiental en cada uno de los pozos de abastecimiento mediante un análisis de varianza (ANOVA), seguido de una prueba de comparación múltiple de Tukey.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Cuantificación de plomo

La contaminación por plomo en fuentes de agua subterránea representa un grave riesgo para la salud pública, dado que el plomo es altamente tóxico, incluso en bajas concentraciones, y puede generar efectos adversos irreversibles en la salud. Las muestras fueron recolectadas en cinco pozos durante la época lluviosa, bajo condiciones controladas que minimizan la contaminación externa. Se siguieron estrictos protocolos para la recolección, tratamiento y análisis, asegurando que los resultados reflejen de manera precisa la concentración de plomo. Las muestras fueron tratadas con ácido nítrico para preservar los iones de plomo y analizadas mediante espectrometría de absorción atómica.

3.1.1. Curva de calibración

La curva de calibración, con el modelo matemático $y = 0,062x - 0,0018$ (4), obtuvo

un coeficiente de determinación (R^2) de 0,9953 y un coeficiente de correlación (R) de 0,9976, lo que indica una adecuada correspondencia entre absorbancia y concentraciones de plomo. El límite de detección (LOD) fue de 0,25 mg/L y el de cuantificación (LOQ) de 1,0 mg/L, adecuados para el rango de 0,5-10 mg/L. La precisión y exactitud del método se validaron mediante la repetición de análisis en muestras conocidas (2 réplicas por cada muestra) obteniendo resultados consistentes.

3.1.2. Concentraciones de plomo

Las concentraciones promedio de plomo en las muestras de agua de pozos de abastecimiento, determinadas mediante espectrometría de absorción atómica con horno de grafito, fueron obtenidas a partir de tres tomas de muestras, con tres réplicas cada una tal como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2. Concentraciones de plomo procedentes de los pozos de abastecimiento

<i>Pozos de abastecimiento</i>	<i>Concentraciones de Pb (mg/L)</i>
Pozo 1 (Guayabo)	0,780±0,010
Pozo 2 (Isla de Bejucal)	0,783±0,114
Pozo 3 (Baba)	0,833±0,032
Pozo 4 (Guare)	0,762±0,021
Pozo 5 (La Carmela)	0,800±0,044

La mayor concentración de plomo se registró en el pozo de abastecimiento 3 (Baba) siendo de 0,83 mg/L, en contraste la concentración mínima fue de 0,76 mg/L en el pozo de abastecimiento 4 (Guare), tal como se evidencia en la figura 2.

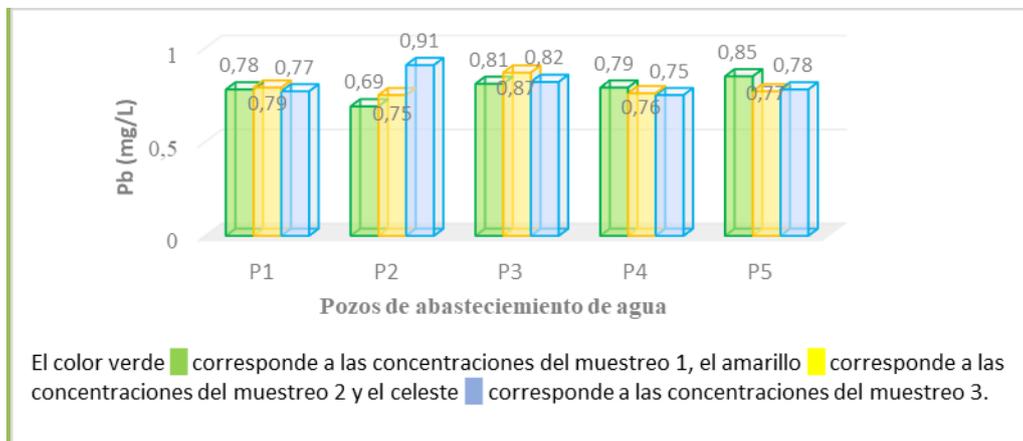


Figura 2. Concentraciones de plomo (mg/L) en las muestras de agua

3.1.4. Análisis de datos

De acuerdo con la prueba de normalidades (Shapiro-Wilks), los datos resultaron con una distribución normal ($p=0,8115$). Posteriormente, el análisis de varianza (ANOVA), seguida de la comparación múltiple de Tukey, revelaron que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las concentraciones ($p=0,672$; $F=0,60$), puesto que todas las medias compartieron la misma letra "A". Estos resultados se ilustran en la figura 3.

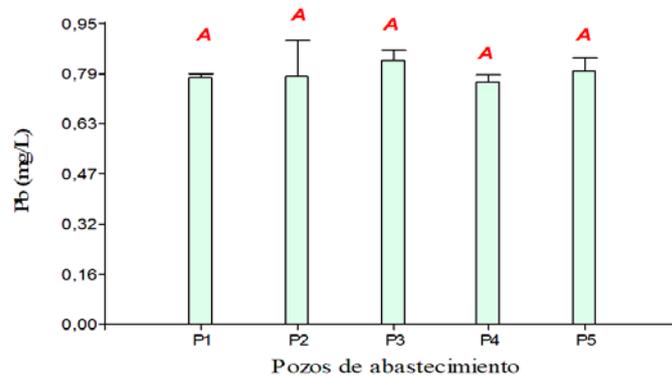


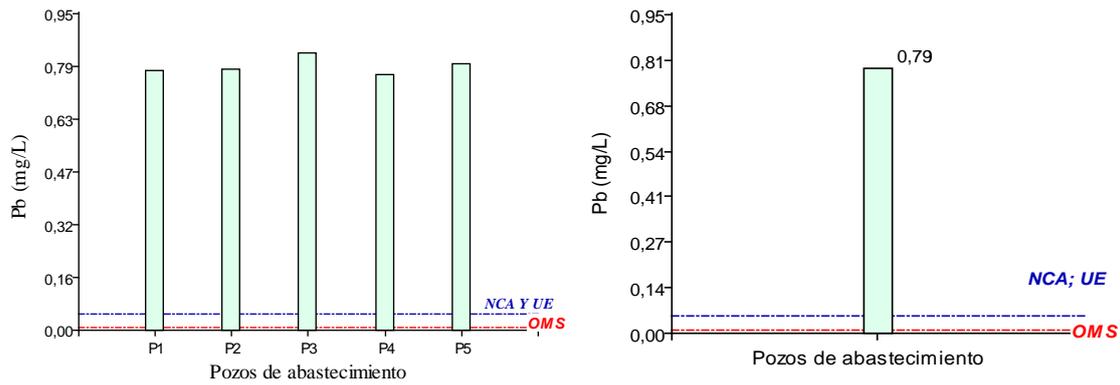
Figura 3. Análisis estadístico de las concentraciones de plomo

Las concentraciones de plomo en los pozos de abastecimiento pueden ser influenciadas tanto por factores antropogénicos como geológicos. En el pozo P3 (Baba), las concentraciones más altas de plomo se deben a su proximidad a fuentes de contaminación industrial y agrícola, que liberan plomo al ambiente, y a la lixiviación desde suelos contaminados en áreas urbanas, facilitando el transporte de plomo hacia los acuíferos cercanos. Esta migración afecta la calidad del agua en los pozos que dependen de estos acuíferos, como el pozo P3, ubicado en la cabecera cantonal y expuesto a actividades urbanas, lo que incrementa su vulnerabilidad a la contaminación (Sanad y col., 2024). Por otro lado, el pozo P4 (Guare) presenta concentraciones más bajas, posiblemente debido a las características geológicas de los acuíferos, que actúan como filtros naturales y limitan la movilidad del plomo en el agua subterránea (Pazand y col., 2018).

3.2. Comparación con parámetros nacionales e internacionales

Las concentraciones de plomo en los cinco pozos superan los límites establecidos por la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, (NCAYDE, 2015) de 0,05 mg/L, la Directiva de la Unión Europea (2020) de 0,05 mg/L, y la Guía de la OMS (1993) de 0,01 mg/L, representando un riesgo significativo para la salud pública. La figura 4 (izquierda) muestra estos resultados, mientras que la figura 4 (derecha) presenta la concentración media de plomo ($0,793 \pm 0,053$ mg/L), que está muy por encima de los límites recomendados, lo que implica un riesgo considerable debido a la exposición prolongada.

Lamas y col., (2023) destacan que la exposición crónica al plomo en el agua, incluso a niveles bajos, puede causar problemas neurológicos, renales y cardiovasculares, especialmente en niños y poblaciones vulnerables. En el cantón Baba, donde los niveles de plomo superan los parámetros normativos, toda la población está expuesta a riesgos significativos.



NCA: Norma de Calidad Ambiental; UE: Directiva de la Unión Europea; OMS: Guía de la Organización Mundial de la Salud

Figura 4. Concentraciones de plomo por pozo (izquierda) y promedio general (derecha), comparadas con los estándares nacionales e internacionales

3.3. Determinación del impacto ambiental

La tabla 3 muestra el impacto ambiental determinado a partir de las concentraciones de plomo y los parámetros de la Norma de Calidad Ambiental, la Directiva (UE) y la Guía de la OMS para la calidad del agua. Todos los valores son positivos, indicando un impacto ambiental significativo en los pozos evaluados. El pozo 3 (Baba) presentó el mayor impacto ambiental (+0,78 y +0,82), debido a las concentraciones más altas de plomo, lo que sugiere un grave deterioro del recurso hídrico y un mayor riesgo para la salud y el medio ambiente.

Tabla 3. Cuantificación del impacto ambiental del plomo

Elem	P_A (mg/L)					P_{NC} (mg/L)	Impacto Ambiental				
	P1	P2	P3	P4	P5		P1	P2	P3	P4	P5
Pb	0,78	0,78	0,83	0,76	0,80	0,05 (NCA; UE)	0,73	0,73	0,78	0,72	0,75
Pb	0,78	0,78	0,83	0,76	0,80	0,01 (OMS)	0,77	0,77	0,82	0,76	0,79

PA: valor de las concentraciones de plomo determinadas en las muestras de agua.

PNC: valor del parámetro establecido en las normativas nacionales e internacionales.

3.3.1. Análisis de datos

La figura 5a muestra el impacto ambiental del plomo en los pozos del cantón Baba, con una distribución normal de los datos (Shapiro-Wilks, $p=0,8115$). El ANOVA y la prueba de Tukey no revelaron diferencias significativas según la Normativa Nacional y la Directiva de la UE, agrupando todas las medias en la categoría "a" ($p=0,6702$; $F=0,60$). La figura 5b confirma estos resultados, mostrando una distribución normal similar y sin diferencias significativas según el estándar de la OMS ($p=0,6702$; $F=0,60$).

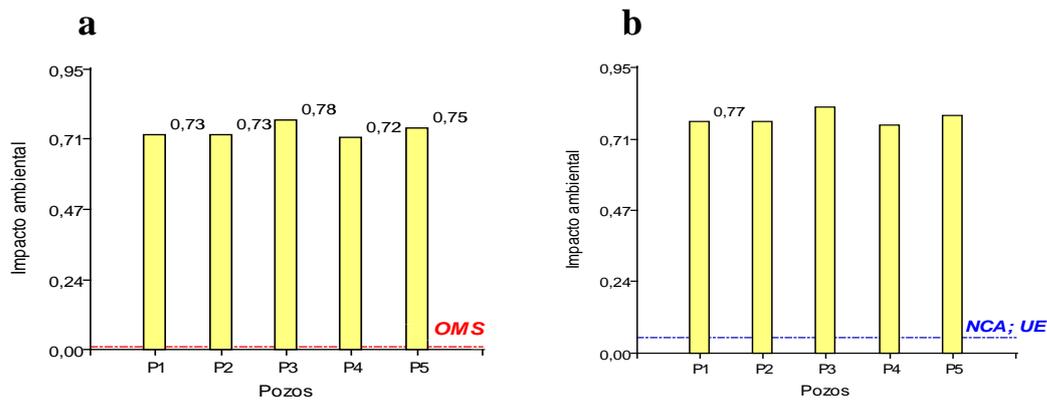


Figura 5. Impacto ambiental en Baba sin diferencias estadísticamente significativas (Norma de Calidad Ambiental, Directiva UE y Organización Mundial de la Salud)

Los promedios del impacto ambiental determinado por las concentraciones de plomo en agua (0,05 mg/L y 0,01 mg/L) ofrecen perspectivas comparables: según la Normativa Nacional y la Directiva de la UE, el promedio es +0,74, mientras que, bajo el estándar de la OMS, aumenta a +0,78. Ambos resultados indican un impacto ambiental significativo, evidenciando un daño severo a la calidad del agua en los pozos de abastecimiento debido a la contaminación por plomo.

Es crucial destacar que, aunque ambos valores son considerados altos según la literatura científica, el impacto es más pronunciado bajo el estándar de la OMS debido a su valor más estricto para el contenido máximo de plomo. Este análisis refleja la importancia de seguir estándares internacionales rigurosos para proteger la salud pública y el ambiente de los efectos nocivos de la contaminación por metales tóxicos (Campoverde y col., 2023). Un estudio realizado en Cuba por Arada y col., (2017) empleó la misma ecuación y matriz utilizados en la presente investigación para evaluar el impacto ambiental en otra localidad (poblado El Cobre, Provincia de Santiago de Cuba) sin embargo proporcionó una visión diferente en cuanto a las concentraciones analizadas en pozos de agua. Los resultados indicaron que las concentraciones de plomo evaluadas en el poblado mostraron impactos negativos (-0,0006; -0,040), lo que sugiere que no generaban daños significativos en esa área específica. En contraste, la presente investigación destaca que el impacto ambiental del plomo en los pozos del cantón Baba, Provincia de Los Ríos, Ecuador, es considerablemente mayor. Esto se evidencia por concentraciones significativamente más altas de plomo, lo cual indica un riesgo potencialmente mayor para el ecosistema acuático local.

4. CONCLUSIONES

La determinación del impacto ambiental del plomo en los pozos de abastecimiento de agua para consumo humano en el cantón Baba, reflejan que:

1. Las concentraciones más elevadas de plomo se encontraron en el pozo de abastecimiento 3, ubicado en la cabecera cantonal de Baba, con un valor de $0,833 \pm 0,032$ mg/L.
2. La concentración media de plomo es de $0,793 \pm 0,053$ mg/L, superando los estándares nacionales e internacionales.
3. El impacto ambiental, evaluado según los criterios de la Organización Mundial

de la Salud (OMS), alcanza un valor superior (+0,78) en comparación con el determinado a partir de la normativa nacional y la Directiva de la UE (+0,74). Este resultado sugiere una mayor severidad en el deterioro ambiental bajo los estándares de la OMS, reflejando una diferencia técnica en los umbrales de evaluación que podría implicar riesgos ambientales más críticos en términos de salud pública y sostenibilidad ecológica.

REFERENCIAS

- Arada, M., Garrido, D., y Acebal, A., Evaluación de metales pesados e impacto ambiental en los pozos “Rive Fuente” y “Bárbara” del poblado El Cobre., *Revista Cubana de Química*, Vol. 30, No. 1, 2017, pp. 68-76. <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v30n1/ind06118.pdf>
- Balzarini, M.G., Gonzalez, L.A., Tablada, E.M., Casanoves, F., Di Rienzo, J.A., & Robledo, C.W., *Manual del Usuario InfoStat Software Estadístico.*, InfoStat, Vol. 53, 2008, pp. 330-336. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/10346/Manual_INFOSTAT_2008.pdf?sequence=1os
- Barragan, R.J., Bravo, L.R., y Torres, J.C., Cuantificación de cadmio y plomo en granos de soja (*Glycine max*) comercializados en el cantón Quevedo, Ecuador., *Revista Bases de La Ciencia*, Vol. 7, No. 7, 2023, pp. 37–50. <https://doi.org/10.33936/revbasdelaciencia.v7i3.4242>
- Brindha, K., Paul, R., Walter, J., Tan, M.L., & Singh, M.K., Trace metals contamination in groundwater and implications on human health: Comprehensive assessment using hydrogeochemical and geostatistical methods., *Environmental Geochemistry and Health*, Vol. 42, No. 11, 2020, pp. 3819-3839. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00637-9>
- Campoverde, P., Aguilar, L., Romero, P., Valverde, P.E., Villamar, K., Jiménez, S., & Garcés, D., Risk Assessment of groundwater contamination in the Gala, Tenguel, and Siete River Basins, Ponce Enriquez Mining Area-Ecuador., *Sustainability*, Vol. 15, No. 1, 2023, pp. 403. <https://doi.org/10.3390/su15010403>
- Directiva de la Unión Europea., Del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2020/2184 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, 2020, pp. 1-58. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2020-81947>
- GADPLR., Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Los Ríos., *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023*, 2019, pp. 1-490. https://losrios.gob.ec/folder/1654805607pdyot_gadp_los_rios_2019_-_2023.pdf
- ICH., International Council for Harmonisation., *ICH guideline Q2(R1) on validation of analytical procedures.*, 2022. <https://www.ich.org/products/guidelines/quality>
- Lamas, G.A., Bhatnagar, A., Jones, M.R., Mann, K.K., Nasir, K., Tellez, M., & Ujueta, F., Contaminant metals as cardiovascular risk factors: A scientific statement from the American Heart Association., *Journal of the American Heart Association*, Vol. 12, No. 6, 2023, e029852. <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.029852>
- Levin, R., Brown, M.J., Kashtock, M.E., Jacobs, D.E., Whelan, E.A., Rodman, J., & Sinks, T., Lead exposures in U.S. children, 2008: Implications for prevention.,
-

- Environmental Health Perspectives, Vol. 116, No. 10, 2008, pp. 1285–1293.
<https://doi.org/10.1289/ehp.11241>
- Medvedev, N.S., Volzhenin, A.V., & Saprykin, A.I., Determination of trace elements in high-purity tungsten by electrothermal vaporization inductively coupled plasma mass spectrometry., *Microchemical Journal*, Vol. 157, No. 9, 2020, 104970.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.104970>
- Montiel, M., Villalba, R., Berruz, J., Castillo, T., González, M., Ruiz, O., Tiscama, N., Paredes, A., & Morales, F., Assessment of spatio-temporal variation in microbial quality of groundwater for irrigation and drinking water: A case study in Santa Lucia canton, Ecuador., *Groundwater for Sustainable Development*, Vol. 23, 2023, 101033. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101033>
- NCAAYDE., Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua., Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015, pp. 1-32.
<https://maeorellana.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/11/anexo-1-agua.pdf>
- OMS., Organización Mundial de la Salud., Directrices de la OMS para la calidad del agua potable, establecidas en Génova, 1993, pp. 1-636.
<https://www.lenntech.es/aplicaciones/potable/normas/estandares-calidad-agua-oms.htm>
- Pazand, K., Khosravi, D., Ghaderi, M.R., & Rezvanianzadeh, M.R., Hydrogeochemistry and lead contamination of groundwater in the north part of Esfahan province, Iran., *Water and Health*, Vol. 16, No. 4, 2018, pp. 622–634.
<https://doi.org/10.2166/wh.2018.034>
- Salazar, J.P., Guanoquiza, L.L., Borges, M., Lasluisa, E.W., Ortiz, V.M., y Reyes, J.J., Impactos ambientales negativos de la urbanización en la localidad residencial del Río Quevedo, Ecuador., *Revista Científica Agroecosistemas*, Vol. 8, No. 3, 2020, pp. 6-12. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/413>
- Sanad, H., Moussadek, R., Dakak, H., Zouahri, A., Oueld, M., & Mouhir, L., Ecological and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Groundwater within an Agricultural Ecosystem Using GIS and Multivariate Statistical Analysis (MSA): A Case Study of the Mnasra Region, Gharb Plain, Morocco., *Water*, Vol. 16, No. 17, 2024, 2417. <https://doi.org/10.3390/w16172417>
- Zamora, D.J., Monge, G.V., Ubillus, S.C., y Moreno, M.A., Análisis no paramétrico a través de Kruskal-Wallis para evaluar a distribución sectorial y el desarrollo de las empresas dentro de la Provincia de Orellana., *Tesla Revista Científica*, Vol. 3, No. 2, 2023, e228. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e228>
- Zuo, R., Meng, L., Wang, B., Wang, J., Ding, F., Guo, X., Jin, S., & Teng, Y., Pollution risk assessment based on source apportionment in a groundwater resource area, NE China., *Human and Ecological Risk Assessment*, Vol. 24, No. 5, 2018, pp. 1197–1215. <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1410428>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Roberto Johan Barragan Monrroy. Gestión de proyectos, conceptualización, metodología, supervisión, redacción - primera redacción.
 - Ing. Noelia Solange Coello Bajaña. Metodología, software, conservación de datos.
 - Ing. Carla Maria Sabando Cedeño. Análisis formal, investigación, recursos, software.
 - M.Sc. Ximena Paola Cervantes Molina. Software, recursos, validación.
 - Dr.C. Luis Ramón Bravo Sánchez. Supervisión, validación, análisis formal.
-