

ARTÍCULOS

¿Existe contaminación por metales pesados en suelos de dos zonas bananeras en Tumbes (Perú)?

Is there heavy metal contamination in the soils of two banana-growing areas in Tumbes, Peru?

Samuel Pacheco Marchán¹, Luis Bermejo Requena², Alberto Ordinola Zapata³



spachecom@untumbes.edu.pe

¹Universidad Nacional de Tumbes. Escuela de Posgrado. Tumbes, Perú.



lbermejor@untumbes.edu.pe

²Universidad Nacional de Tumbes. Facultad de Ciencias Agrarias. Tumbes, Perú.



aordinolaz@untumbes.edu.pe

³ Universidad Nacional de Tumbes. Grupo de Investigación en Biodiversidad en Ecosistemas Acuáticos Tropicales (BioTrop). Tumbes, Perú.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

Modalidad: Continua

vol. 20, núm. 2, 2025

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 04 junio 2025

Aprobación: 21 noviembre 2025

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v20i2.8386>

Autor de correspondencia:

aordinolaz@untumbes.edu.pe



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Cómo citar:

Pacheco-Marchán, S., Bermejo, L., & Ordinola-Zapata, A. (2025). ¿Existe contaminación por metales pesados en suelos de dos zonas bananeras en Tumbes (Perú)? *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 20(2), e8386. <https://doi.org/10.29166/revfig.v20i2.8386>

RESUMEN

Los metales pesados amenazan la seguridad alimentaria, pues contaminan los suelos agrícolas y las cosechas. El río Tumbes es compartido por Ecuador y Perú. En la zona de la naciente del río, en Ecuador, existe actividad minera que contamina sus aguas afectando a la zona peruana que irriga sus parcelas con las mismas. Al contrario del río, la quebrada Cabuyal, utilizada para irrigación, no está contaminada por la minería. La investigación determinó la influencia del uso del agua del río Tumbes y de la quebrada Cabuyal, en la contaminación de suelos agrícolas bananeros por mercurio, plomo, cadmio y arsénico en Pampas de Hospital (Pampas), que usa el agua del río, y Becerra que usa la de la quebrada. En Pampas se recogieron 25 muestras de suelo agrícola, cinco de fondo y cuatro de banano; y en Becerra, 15 de suelo agrícola, cinco de fondo y dos de banano. Se registró el pH en cada punto de muestreo. Las muestras fueron analizadas por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente. Los valores promedio ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) para suelos agrícolas en Pampas fueron: mercurio 0,089, plomo 29,7, cadmio 1,23 y arsénico 19,96 y en Becerra: mercurio 0,063, plomo 8,93, cadmio 0,29 y arsénico 9,92; estos no superaron sus respectivos estándares de calidad ambiental (ECAs). Las muestras de fondo tampoco los superaron. Los frutos de banano mostraron niveles indetectables de los contaminantes, en tanto que, los suelos agrícolas, contrario a lo esperado, no estuvieron contaminados por los metales pesados y metaloide analizados.

Palabras claves: metales tóxicos; *Musa paradisiaca*; contaminación dulceacuícola; agricultura; subcuenca

ABSTRACT

The mining activity conducted in the upper part of the Tumbes River basin (Peru) has been reported by some authors to be contaminating the Tumbes River water with heavy metals, which is used to irrigate agricultural plots in its basin. However, other water bodies, such as the Cabuyal stream, are reportedly not contaminated by mining. This study aimed to determine the influence of the Tumbes River and Cabuyal stream waters on the contamination of banana agricultural soils by mercury, lead, cadmium, chromium, and arsenic in Pampas de Hospital (Pampas), which uses water from the river, and Becerra, which uses water from the stream. A total of 25 agricultural soil samples were analyzed: five background samples and four banana samples from Pampas; and 15 agricultural soil samples, five background samples, and two banana samples from Becerra. The pH was recorded at each sampling point. The samples were analyzed using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The average results in $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ for agricultural soils were as follows: for Pampas, mercury 0,089, lead 29,7, chromium 24,11, cadmium 1,23, and arsenic 9,92; and for Becerra, mercury 0,063, lead 8,93, cadmium 0,29, chromium 41,03, and arsenic 19,96. These values did not exceed their respective Environmental Quality Standards (EQS). The background samples also did not exceed the EQS. The banana fruits showed undetectable levels of the contaminants. Contrary to expectations, the agricultural soils were not contaminated by the heavy metals and metalloid analyzed.

Keywords: toxic metals; *Musa paradisiaca*; freshwater contamination; agriculture; sub-basin

INTRODUCCIÓN

El río Tumbes es un río binacional que nace en Ecuador y atraviesa el departamento de Tumbes (Perú); este cuerpo de agua nace a 3.500 m de altitud, en la zona de Portovelo (Ecuador) donde se le conoce como río Pindo, en la parte alta se unen a él sus afluentes, el río Calera y Amarillo; luego el río cambia de nombre a río Puyango y finalmente cuando ingresa a Perú se le conoce como río Tumbes. La cuenca del río Tumbes tiene gran importancia socioeconómica para ambos países, pues en esta se concentra una parte significativa de sus poblaciones y de sus actividades. A pesar de su importancia, este río presenta fuertes amenazas, por la excesiva explotación de sus aguas, el cambio climático y la contaminación (Cordova, 2022; Peña-Murillo et al., 2024).

En sus nacientes se practica la minería artesanal del oro, lo que ha ocasionado el ingreso de metales pesados a sus aguas (Mestanza-Ramón et al., 2021). Desde principios de la década de 1980, se extraen oro y plata en esta región, con plantas de procesamiento situadas a orillas de los ríos Calera y Amarillo. La falta de control del gobierno aunada a una deficiente gestión de los residuos producidos por la minería ha provocado que, durante décadas, se vierten directamente los relaves mineros en ambos ríos, causando graves daños ambientales y contaminando seriamente la parte alta del río Puyango, afectando la calidad del agua del río Tumbes y generando conflictos ambientales entre Ecuador y Perú (Salgado-Almeida et al., 2024).

Diversos estudios han evaluado la cuenca del río Tumbes, hallando niveles preocupantes de metales pesados, por ejemplo, Núñez y Zegarra (2006) reportaron concentraciones elevadas de Cu, Fe y Pb, que superaron los límites máximos permisibles establecidos en las legislaciones de Ecuador y Perú. (Mora et al., 2016, pp. 385-397) también detectaron niveles altos de Cu, Fe y Zn aguas abajo de la confluencia de los ríos Calera y Amarillo.

El río Tumbes irriga alrededor de 90.000 ha de cultivos propiedad de 6.000 agricultores; en estos terrenos se cultivan varios productos, uno de los principales es el banano (*Musa paradisiaca L.*) (Mondal et al., 2020). Los suelos dedicados a estos cultivos se pensaba podrían estar contaminados por metales pesados acarreados por el río, pues según investigaciones realizadas por (Chapela-Lara et al., 2025; Gavilanez, 2016, Marshall et al., 2018, pp. 632-641; Mora et al., 2016, pp. 385-397, Puño, 2014), entre otros, los niveles de mercurio, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, arsénico y otros metales pesados, excedieron a sus respectivos estándares de calidad ambiental (ECAs); lo que se ha mostrado es un riesgo para la salud de los seres humanos, porque autores como Gavilanez (2016) y Chapela-Lara et al. (2025), detectaron niveles altos de plomo y mercurio en pobladores que usan el agua del río Tumbes; de igual manera se ha mostrado efectos negativos en los organismos asociados al mismo río (Mora et al., 2016, pp. 385-397).

Las investigaciones sobre presencia de metales en terrenos y productos agrícolas en Tumbes (Perú), son limitados, uno de los más conocidos es el de Mondal et al. (2020), quienes detectaron presencia de arsénico en el arroz; si bien, este metaloide no estuvo presente en cantidades muy altas, aun así, estos investigadores expresaron preocupación por su presencia y por los posibles efectos que su presencia en ese alimento podría tener en la población que lo consume.

A la fecha no se han reportado estudios sobre presencia de metales pesados y arsénico en cultivos de banano en Tumbes, por lo que esta investigación tuvo como objetivo determinar los niveles de mercurio, plomo, cadmio y arsénico en suelos agrícolas de dos zonas dedicadas al cultivo en Tumbes (Perú), la primera en la zona de Pampas de Hospital, que irriga con agua del río Tumbes y la segunda en la zona de Becerra, que irriga con agua de la quebrada Cabuyal, que no porta metales pesados en su agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de la zona investigada

Los terrenos agrícolas investigados se hallan en la margen derecha del río Tumbes, en Perú, a una altitud media de 31 m.s.n.m. La zona es de clima tropical y tiene temperaturas que varían entre 18 °C y 29 °C. Respecto a las precipitaciones, los meses con mayor frecuencia de lluvias se extienden anualmente de enero a abril. Estas tienen un máximo de 96,5 mm; en tanto que, la menor frecuencia de lluvias se da de mayo a diciembre, con precipitación mínima de 0,6 mm.

Zonas de muestreo

Se seleccionaron dos zonas de muestreo, la primera en la zona de Pampas de Hospital, donde se cultiva banano empleando para la irrigación el agua del río Tumbes. Se estima que el área dedicada al cultivo en dicha zona es de 500 ha, y teniendo en cuenta que la costumbre del agricultor es sembrar una planta distanciada de la siguiente por alrededor de 3 m, es decir 1.089 plantas/ha, la población de plantas de banano en dicha zona se estima en alrededor de 545.000.

La otra zona correspondió al caserío de Becerra cuyos cultivos de banano se irrigan con agua de la quebrada Cabuyal, que es un afluente del río Tumbes, pero que no presenta metales pesados, puesto que no se practica minería en sus alrededores. Se estima que el área dedicada al cultivo de banano en Becerra abarca alrededor de 200 ha en las que se crecen alrededor de 218.000 plantas; por lo que, la población de plantas de banano en ambas zonas es de más de 750.000.

Recolección de muestras de suelo

Se tomaron 20 muestras de suelo de las zonas de cultivo de Pampas de Hospital y 10 de Becerra, adicionalmente se tomaron cinco muestras para determinación de niveles de fondo, en zonas aledañas a los terrenos de cultivo, pero en las que no se practica el mismo (Figura 1). En cada punto de muestreo se recogió alrededor de 1 kg de suelo que fue extraído a una profundidad de 30 cm. El número de muestras recolectadas se fijó siguiendo lo especificado en la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2014).

Las muestras recolectadas se colocaron en bolsas ziplock y se mantuvieron refrigeradas en un cooler portátil. Las muestras fueron enviadas al Laboratorio Técnica y Proyectos S.A Sucursal de Perú, TYP SA Perú (laboratorio que está acreditado para el análisis de metales pesados en el Perú). En dicha empresa se realizaron los análisis para la determinación de la concentración de metales pesados (mercurio, plomo, cadmio) y del metaloide arsénico.

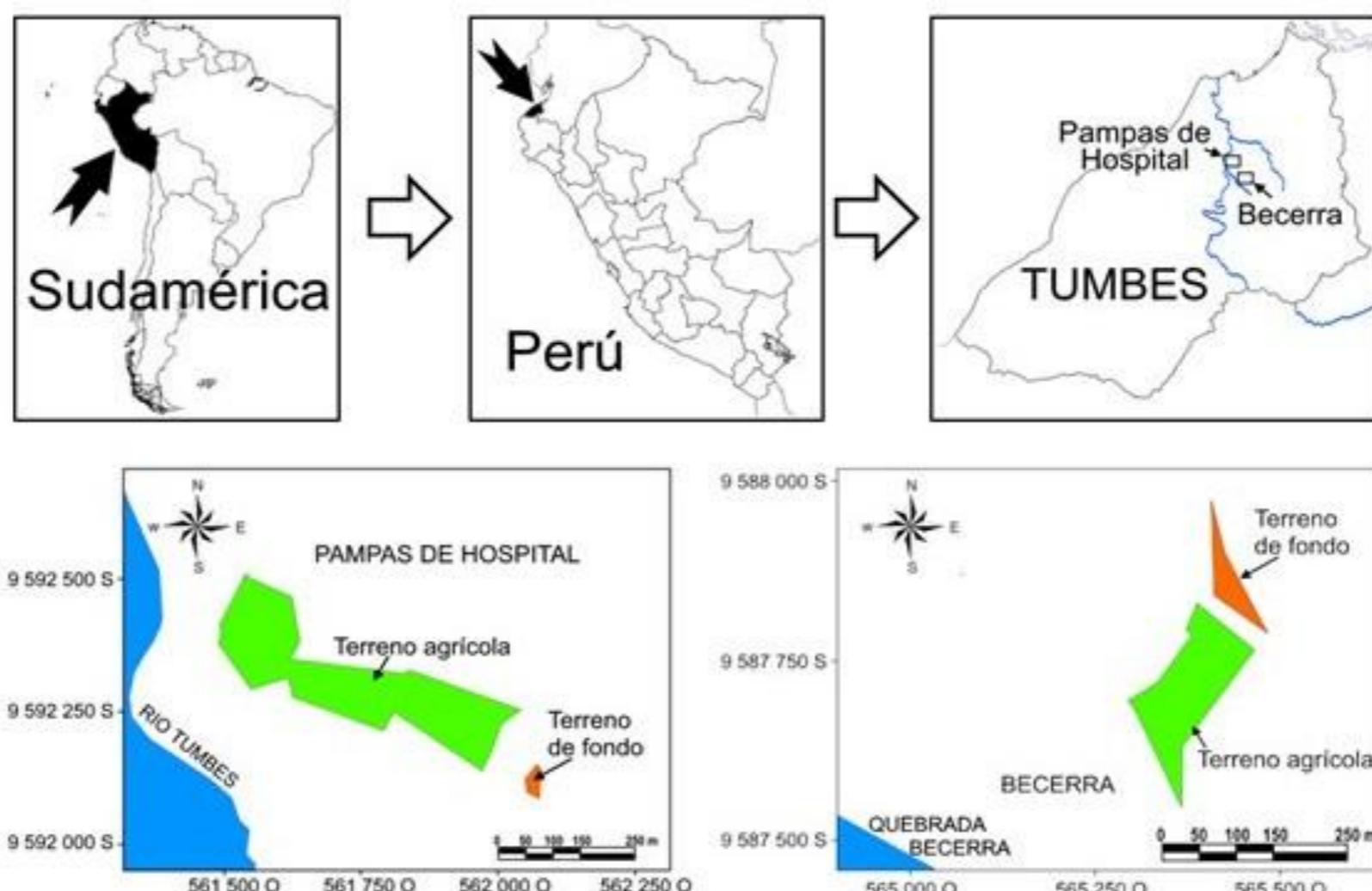


FIGURA 1
Zonas de muestreo de suelo agrícola y fondo en las localidades investigadas

Recolección de muestras del fruto del banano

Adicionalmente, se tomaron cuatro muestras de fruto del banano en las zonas de cultivo de Pampas de Hospital y otras dos muestras de los cultivos de Becerra. Los frutos se recolectaron en estado maduro y de manera aleatoria en cada una de las zonas de cultivo. La muestra incluyó dos "dedos" o bananos tomados al azar de la racima seleccionada. Las muestras se almacenaron de manera similar a las muestras de suelo y se enviaron al mismo laboratorio para su análisis.

Análisis de los metales pesados en suelos y frutos

Las muestras se procesaron con los métodos e instrumentos que se muestran en la Tabla 1. Las muestras se secaron y molieron finamente, luego se realizó la digestión ácida para las muestras de suelos y frutos empleando una mezcla de ácidos (generalmente HNO₃ concentrado y HCl), y con un sistema de microondas que permitió calentar la muestra alrededor de 175 a 200 °C. Esto permitió extraer los metales pesados y metaloides de las matrices sólidas. Luego se analizó las muestras por espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS); las muestras fueron nebulizadas y disparadas contra un flujo de plasma, para ionizar sus elementos, los cuales fueron acelerados hacia un detector donde se midió su relación masa/carga para permitir su cuantificación al evaluar la cantidad de isótopos característicos de cada uno de los elementos investigados.

TABLA 1
Instrumentos y métodos de laboratorio empleados en el análisis de metales pesados

Matriz	Elemento analizado	Método de digestión	Instrumento utilizado*	Método	Límite de detección ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Suelo	<u>Arsénico</u>	Digestión ácida asistida por microondas con HNO_3 y HCl	ICP-MS Marca Agilent Modelo 7900	EPA Method 3051A Rev.1 February 2007 / EPA Method 6020A Rev.1. January 1998	0,0154 0,0308 0,0198
	<u>Cadmio</u>				0,0159
	<u>Cromo</u>				0,0141
	<u>Mercurio</u>				
Fruto (Banano)	<u>Plomo</u>				
	<u>Arsénico</u>	Digestión ácida asistida por microondas con HNO_3 y HCl	ICP-MS Marca Agilent Modelo 7900	AOAC Official Method 2015.01 0.0188 (Heavy Metals in Food) 20th ed.	0,0188 0,0060 0,0198
	<u>Cadmio</u>				0,0159
	<u>Cromo</u>				0,0092
<u>Mercurio</u>					
	<u>Plomo</u>				

* ICP-MS: espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente

Comparación con estándares de calidad ambiental

En la Tabla 2 se muestran los niveles de metales pesados y arsénico, se compararon con sus respectivos estándares de calidad ambiental (ECAs) para suelos agrícolas establecidos por el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM, 2013); así como, los límites máximos permisibles (LMPs) establecidos por la Comisión Europea (2023).

TABLA 2
Estándares de calidad ambiental de metales pesados

Parámetro	ECA de suelo agrícola ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	LMP de fruto del banano ($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
Mercurio total	6,6	ND
Plomo total	70,0	10
Cadmio total	1,4	20
Arsénico total	50,0	20*

* No existe para banano ni para frutas, pero se reporta para néctares y jugos de frutas.

ND: No se ha establecido un límite máximo permisible para mercurio en frutas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Niveles de mercurio en suelos agrícolas

Los niveles de mercurio en los suelos agrícolas dedicados al cultivo de banano en las localidades de Pampas de Hospital y de Becerra se hallaron entre $0,06 \pm 0,03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $0,09 \pm 0,02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectivamente, en tanto que, las muestras de fondo para las mismas localidades se hallaron entre $0,05 \pm 0,00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $0,09 \pm 0,05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. No existió diferencia estadística significativa de la concentración de mercurio entre las muestras de suelo agrícola y de fondo de cada localidad, así como, entre las muestras de ambas localidades ($p > 0,05$), por lo que, respecto a la concentración de

mercurio, no se ha evidenciado un incremento de este metal en los suelos de Pampas de Hospital que son irrigados con el agua del río Tumbes. Las concentraciones de mercurio en todas las muestras de suelo estuvieron en niveles muy bajos respecto a su ECA que es de $6,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, siendo valores alrededor de 65 veces inferiores al ECA, lo que indica que, en ninguna de ellas, se evidenció niveles moderados de contaminación por mercurio. (Figura 2)

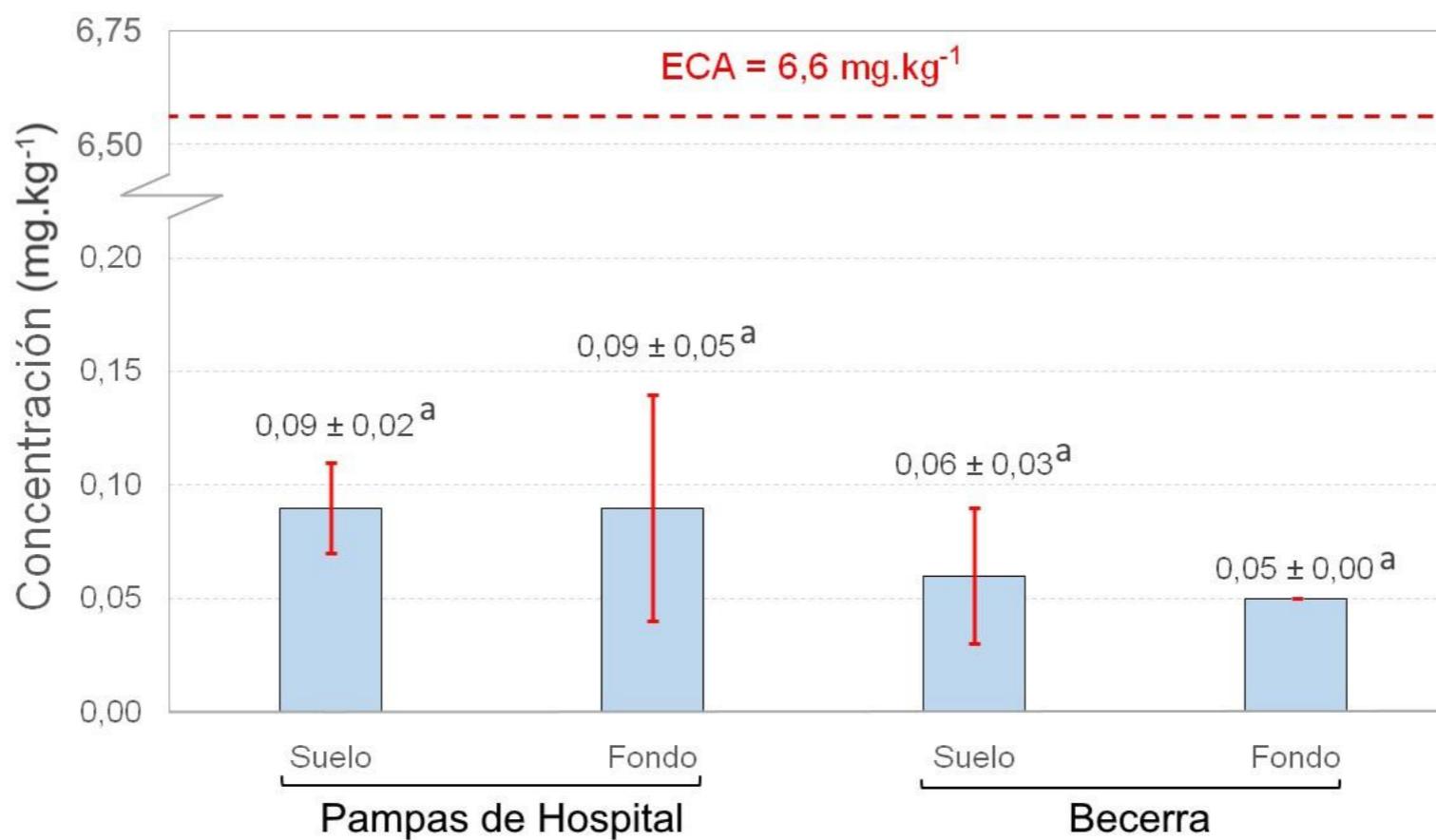


FIGURA 2
Concentración de mercurio en los suelos agrícolas evaluados

Los niveles de mercurio fueron bajos y similares entre los suelos de las parcelas irrigadas con agua del río Tumbes, que contiene metales pesados, y los de las parcelas irrigadas con agua de la quebrada Cabuyal, que se halla libre de metales pesados, esto se justifica porque según la investigación realizada por Schudel et al. (2018), el mercurio comienza a decrecer en los sedimentos del río a partir de una distancia de 120 km desde la zona de la naciente en que se practica la minería artesanal en Ecuador, por lo que se estima que el contenido de mercurio en sedimentos ha decrecido bastante al ingresar al territorio peruano y sería aún menor al llegar a las zonas investigadas.

Niveles de plomo en suelos agrícolas

El nivel de plomo en los suelos agrícolas dedicados al cultivo de banano, fue consistentemente mayor en las parcelas de Pampas de Hospital, que mostraron valores de $29,74 \pm 11,66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, y superaron estadísticamente a los niveles encontrados en fondo en la misma localidad, así como a los correspondientes a suelo agrícola y fondo de Becerra que se hallaron entre $8,14 \pm 1,66 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $11,29 \pm 1,33 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Figura 3). No existió diferencia estadística significativa de la concentración de plomo entre estas tres últimas muestras ($p > 0,05$). Esto indica que los suelos agrícolas irrigados con agua del río Tumbes incrementaron su concentración de plomo, aunque aún se hallan por debajo de su respectivo estándar de calidad ambiental que es de $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

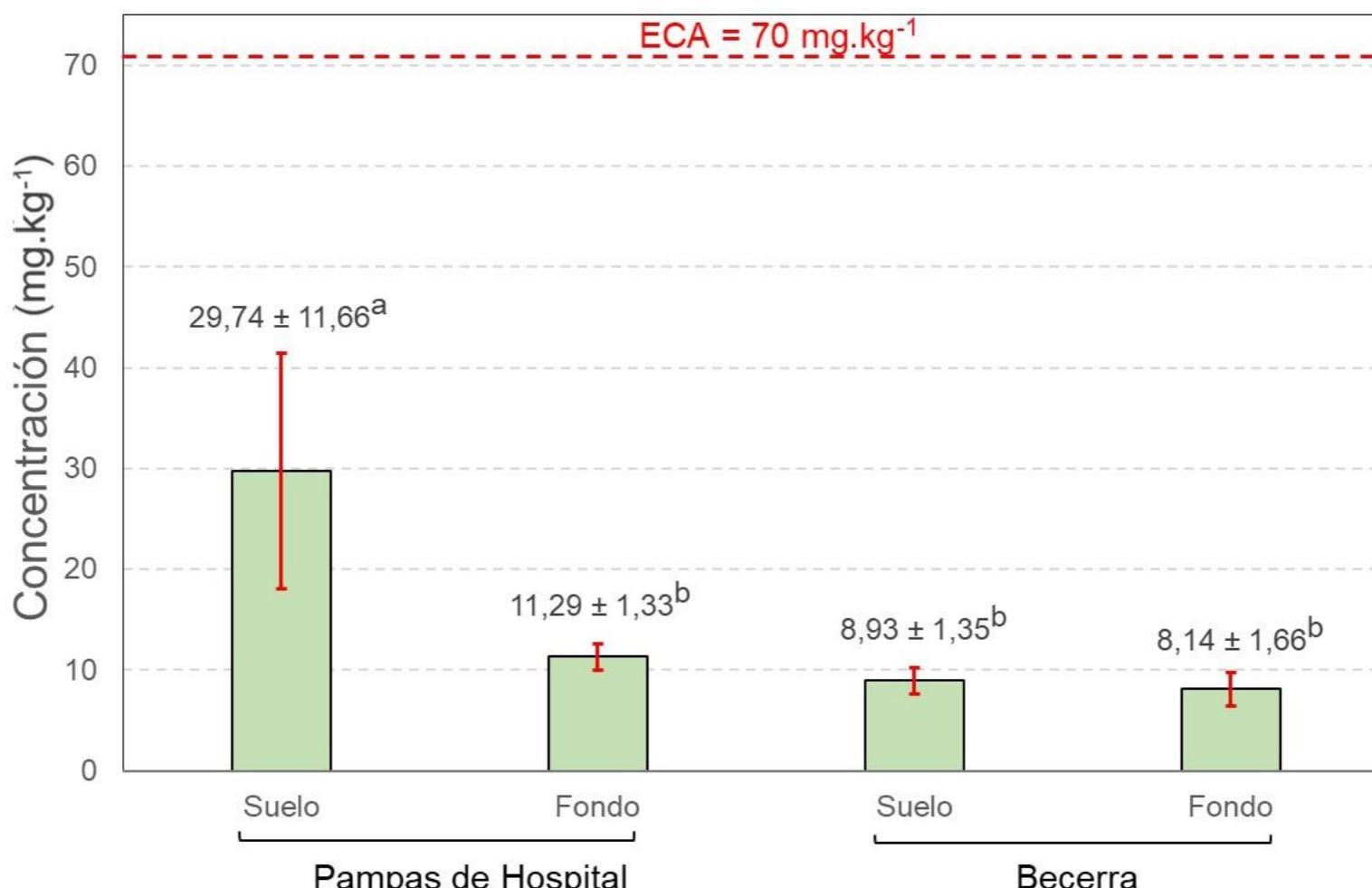


FIGURA 3
Concentración de plomo en los suelos agrícolas evaluados

Los niveles incrementados de plomo en el suelo de parcelas de Pampas de Hospital irrigadas con agua del río Tumbes, se justifican porque se han reportado niveles elevados de plomo en el agua del río Tumbes que incluso superaron sus LMP en la zona de La Capitana (localidad que se halla a pocos kilómetros del área de estudio), estos niveles fueron incluso superiores al promedio de concentración de plomo en el río (García et al., 2022, pp. 137-142).

Como se esperaba, los niveles de plomo en el suelo de referencia (fondo) y en el suelo agrícola de la zona de Becerra, no irrigada con agua del río Tumbes, fueron similares a los valores de fondo registrados en Pampas de Hospital, donde si se utiliza dicha agua para riego. Esta coincidencia indica que la irrigación con aguas del río Tumbes podría estar contribuyendo a la acumulación de plomo en los suelos agrícolas en Pampas de Hospital.

Niveles de cadmio en suelos agrícolas

El nivel de cadmio fue bastante alto en el suelo agrícola irrigado con agua del río Tumbes ($1,23 \pm 0,12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), este se halló en un nivel bastante cercano a su ECA que es de $1,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Este valor fue estadísticamente superior ($p < 0,05$) que el registrado en las parcelas de Becerra que no se irrigan con agua del río Tumbes. (Figura 4)

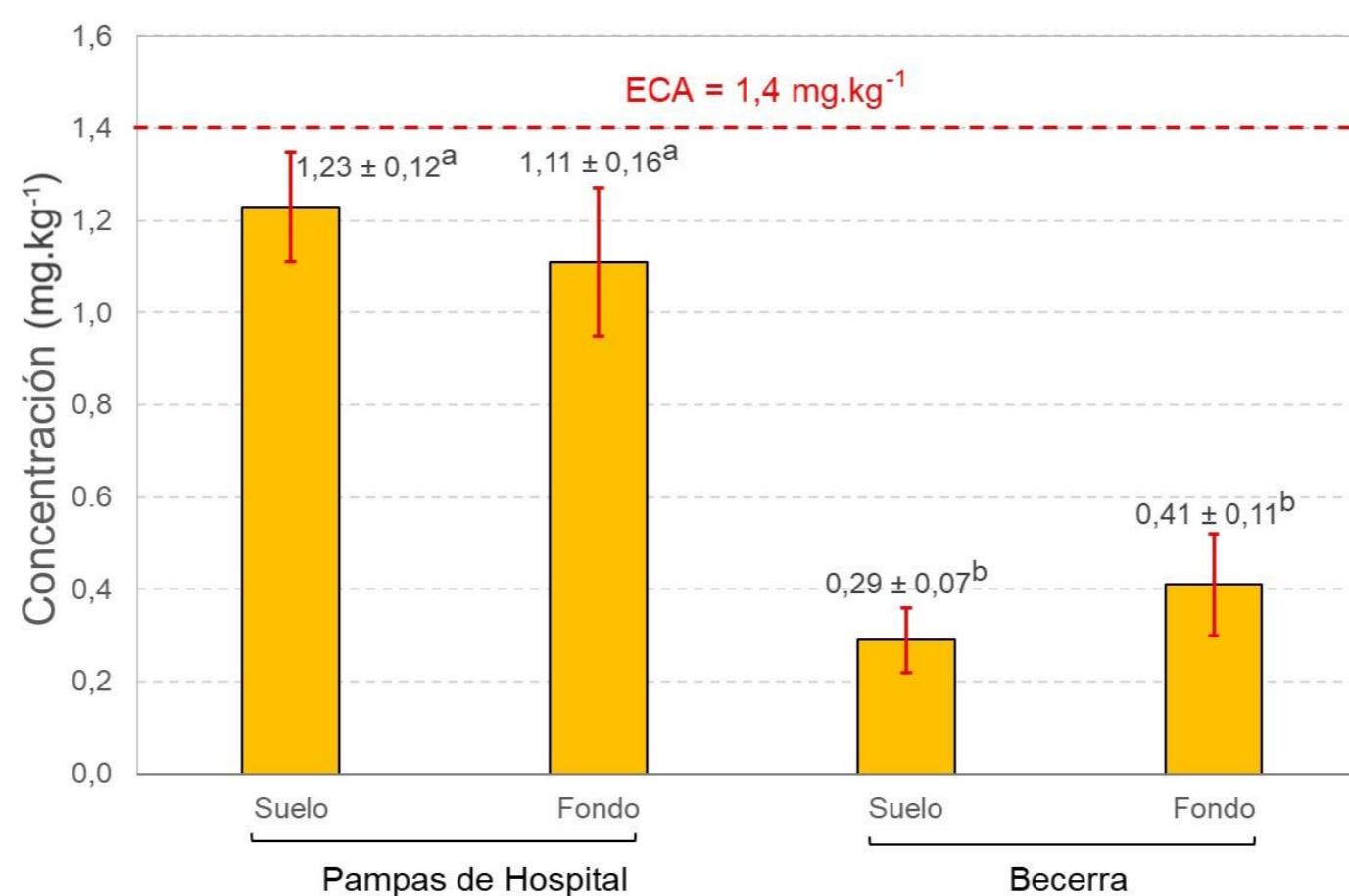


FIGURA 4
Concentración de cadmio en los suelos agrícolas evaluados

Sin embargo, también se observó que los niveles de cadmio en la muestra de fondo de la zona de Pampas de Hospital, fueron altos y no mostraron diferencia estadística significativa con los del suelo agrícola de la misma zona. Los niveles elevados de cadmio en la zona agrícola podrían atribuirse al ingreso de dicho metal a través del agua del río Tumbes, puesto que varios autores han reportado la presencia de este metal en sus aguas (Espinoza y Falero, 2015; García et al., 2022, pp. 137-142) y se ha señalado que el riego con agua del río Tumbes fue un factor involucrado en el incremento de cadmio en suelos agrícolas dedicados al cultivo del cacao (Thomas et al., 2023).

Respecto a los niveles elevados de cadmio registrados en las muestras de fondo de la zona de Pampas de Hospital, una posible justificación de este hallazgo, es que en la zona en que se tomaron las muestras de fondo, se hallaron abundantes residuos quemados de fundas plásticas utilizadas para proteger las racimas de plátano, estos podrían haber liberado cadmio, puesto que, si bien las fundas están fabricados con polietileno de baja densidad, y no contienen en su constitución cadmio; pero a este plástico se le añaden aditivos tales como colorantes, bloqueadores de la luz ultravioleta solar, pesticidas e insecticidas; algunos de los cuales se añaden a los plásticos y pueden contener residuos de cadmio como lo han señalado Turner (2019) y Zhang y Reynolds (2019).

El argumento propuesto para el origen de la contaminación por cadmio a partir de los residuos plásticos, también ha sido esgrimido por Félix et al. (2002), quienes atribuyeron a dichos residuos ser una de las causas de los niveles elevados de cadmio en suelos agrícolas en la provincia de El Oro (Ecuador), que limita con el departamento de Tumbes, y que se halla bastante cerca, a unas decenas de kilómetros de la zona en estudio.

Niveles de arsénico en suelos agrícolas

Los niveles de arsénico en los suelos agrícolas dedicados al cultivo de banano en las localidades de Pampas de Hospital y de Becerra, mostraron valores que se hallaron entre $19,96 \pm 5,92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $9,92 \pm 0,70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, en tanto que las muestras de fondo, para las mismas localidades se hallaron entre $10,23 \pm 1,37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $5,08 \pm 1,29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente. (Figura 5)

No existió diferencia estadística significativa de la concentración de arsénico entre las muestras de suelo agrícola y de fondo de cada localidad y entre las muestras de ambas localidades ($p > 0,05$), por lo que, respecto a la concentración de arsénico, no se ha evidenciado un incremento de este metaloide en los suelos agrícolas de Pampas de Hospital que son irrigados con el agua del río Tumbes. Las concentraciones de arsénico en todas las muestras de suelo estuvieron en niveles muy por debajo de su respectivo ECA que es de $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

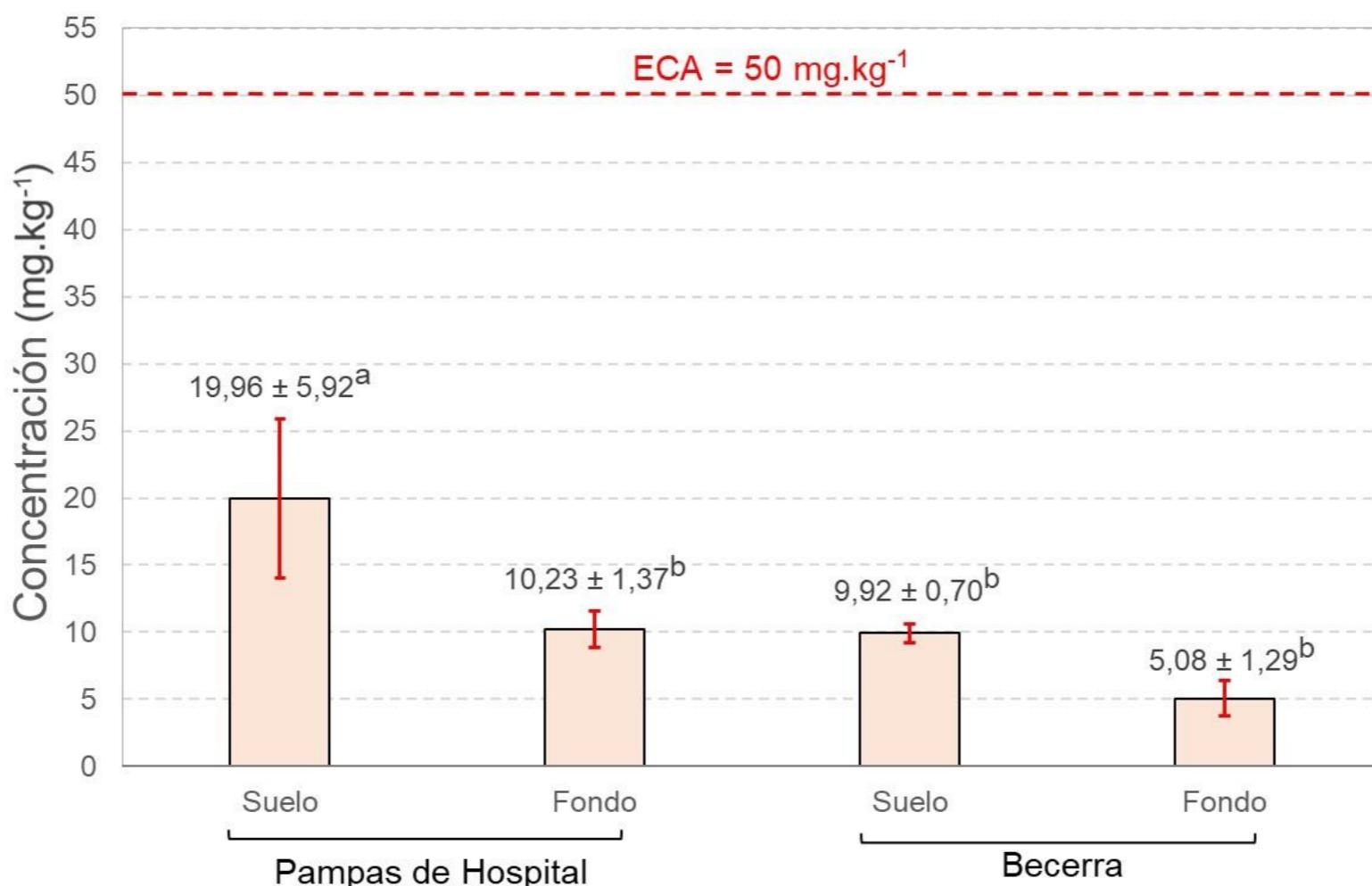


FIGURA 5
Concentración de arsénico en los suelos agrícolas evaluados

Los niveles de arsénico fueron bajos y proporcionalmente similares entre los suelos de las parcelas irrigadas con agua del río Tumbes y los de los irrigados con agua de la quebrada Cabuyal. Estos resultados contrastan con los reportados por Mondal *et al.* (2020), quienes evaluaron el contenido de arsénico en suelos dedicados al cultivo de arroz en la zona de Corrales (Tumbes), encontrando niveles relativamente más altos que los reportados en este caso; esto puede atribuirse a dos factores: primero, la zona de Corrales se ubica cerca de la desembocadura del río Tumbes, por lo que la velocidad del río disminuye y hay mayor sedimentación, además estas zonas sufren de inundaciones periódicas por el río Tumbes (Chero, 2021), lo que aporta mayor cantidad de sedimentos que contienen arsénico y son procedentes del río. Adicionalmente el cultivo de arroz se realiza por inundación, pues requiere de una lámina de agua de alrededor de 5 a 10 cm sobre el suelo y consume un alto volumen de agua (alrededor de $3 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ de arroz producido) (Wichaidist *et al.*, 2023), todo lo cual incrementa el ingreso de sedimentos y agua del río Tumbes que presentan niveles altos de arsénico. En contraste, el cultivo de banano en las áreas evaluadas se realiza en una zona más alta (media 31 m.s.n.m.), con menor sedimentación y no requiere de riego por inundación, sino riegos periódicos con una cantidad de agua mucho más baja que la necesitada por el arroz, estimándose una huella hídrica total menor a la cuarta parte de la del arroz (Ramachandran *et al.*, 2022, pp. 302-308); esto hace que la exposición al arsénico, de los suelos del cultivo del banano sean menores que los de los cultivos de arroz y justifican los niveles más bajos de este metaloide.

Niveles de metales pesados en el fruto del banano

Los niveles de mercurio, plomo, cadmio y arsénico fueron indetectables en las cuatro muestras de frutos del banano recolectadas de Pampas de Hospital y las dos correspondientes de Becerra, por lo que dichos productos no estuvieron contaminados por tales metales y metaloide.

Si bien en la zona de Pampas de Hospital los suelos agrícolas mostraron cierta presencia de mercurio, plomo, cadmio y arsénico (aunque en cantidad baja), en los frutos dichos metales fueron indetectables. Esto muestra una baja propensión a biomagnificar tales contaminantes en el fruto, aspecto que también ha sido observado por Romero-Estévez *et al.* (2019), que no hallaron niveles elevados de cadmio y níquel en frutos del banano procedentes de la provincia de El Oro (Ecuador), en cuyas zonas agrícolas, Félix *et al.* (2002) reportaron presencia de metales pesados. Se debe precisar que, en la parte alta de la provincia de El Oro se practica la minería aurífera artesanal, que afecta al río Tumbes, así como a zonas agrícolas de esa misma provincia, por lo que no haber hallado niveles elevados de metales pesados en el fruto del banano, en esta investigación, es coherente con los bajos niveles registrados en bananos cosechados en la provincia aledaña de El Oro (Ecuador).

CONCLUSIONES

Los niveles de los metales pesados y arsénico en suelos agrícolas dedicados al cultivo de banano en la zona de Pampas de Hospital, irrigados con agua del río Tumbes, fueron de $0,089 \text{ mg.kg}^{-1}$ para el mercurio, $29,7 \text{ mg.kg}^{-1}$ para el plomo, $1,23 \text{ mg.kg}^{-1}$ para el cadmio y $19,96 \text{ mg.kg}^{-1}$ para el arsénico. En comparación, los suelos agrícolas en la zona de Becerra, irrigados con agua de la quebrada Cabuyal, mostraron niveles de $0,063 \text{ mg.kg}^{-1}$ para el mercurio, $8,93 \text{ mg.kg}^{-1}$ para el plomo, $0,29 \text{ mg.kg}^{-1}$ para el cadmio y $9,92 \text{ mg.kg}^{-1}$ para el arsénico. Los valores observados no superaron sus respectivos estándares de calidad ambiental (ECAs). Las muestras de fondo tampoco excedieron los ECAs. Además, los análisis de los frutos de banano mostraron niveles indetectables de metales pesados y arsénico.

A pesar de que los suelos de Pampas de Hospital son irrigados con agua del río Tumbes, en el que se ha reportado la presencia de metales pesados, los niveles de mercurio, plomo, cadmio y arsénico encontrados en los suelos no superaron los estándares de calidad ambiental. Este resultado sugiere que, aunque la presencia de metales pesados en el agua de riego podría representar un riesgo potencial, los mecanismos de acumulación y transferencia hacia los suelos y las plantas podrían no ser tan significativos como se pensaba inicialmente; así mismo, los frutos del banano no representarían ninguna amenaza a los consumidores por presencia de metales pesados.

Contribuciones de los autores

Samuel Pacheco Marchán: conceptualización, investigación, metodología, curación de datos, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Luis Bermejo Requena: conceptualización, supervisión, investigación, metodología, redacción – revisión y edición.

Alberto Ordinola Zapata: conceptualización, investigación, metodología, administración del proyecto, curación de datos, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

Cesión de derechos y declaración de conflicto de intereses

La revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo conserva los derechos patrimoniales (copyright) de la obra publicada, al mismo tiempo que promueve y permite su reutilización. La obra se publica en edición electrónica bajo la licencia Creative Commons CC-BY 4.0, que permite a los usuarios compartir, copiar y redistribuir el contenido, siempre que se dé el debido reconocimiento a los autores. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES).

Los autores declaran haber respetado los principios éticos de investigación y estar libre de cualquier conflicto de intereses.

REFERENCIAS

Chapela-Lara, S., Arar, O., Fernandez, L., Villarreal-Palacios, D., Vilchez-Barreto, P., Gamboa-Moran, R., Rothenberg, S. E., Pan, W. K. y O'Neal, S. E. (2025) "Mercury levels in hair of pregnant women in Tumbes, Peru: A cross-sectional study", *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 112(1), pp. 217-225. DOI: 10.4269/ajtmh.24-0142

Chero, L. E. (2021) *Development of a distributed sediment routing model for extreme rainfall-runoff events*. PhD Thesis. Kyoto University. Disponible en: <https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/266007/1/dkogk04891.pdf> [Consultado 23-04-2025]

Cordova, K. P. (2022) *Evaluación Geoambiental del Agua Superficial de las Cuencas Binacionales Transfronterizas Puyango-Tumbes y Catamayo-Chira entre Perú y Ecuador*. Tesis de Máster. Universidad Complutense de Madrid. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14352/87620> [Consultado 01-05-2025]

Espinosa, D. y Falero, S. (2015) "Niveles de mercurio, cadmio, plomo y arsénico en peces del río Tumbes y riesgos para salud humana por su consumo", *Revista del Instituto de Investigación*, 18(36), pp. 35-41. Disponible en: <https://socictopen.socict.org/items/show/24486>

Félix, I., Mite, F. A., Carrillo, M. D. y Pino, M. R. (2002) "Avances de investigación del proyecto determinación de metales contaminantes en cultivos de exportación y su repercusión sobre la calidad de los mismos". *VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. Santo Domingo de los Tsáchilas: Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5874> [Consultado 10-05-2025]

García, A., Rimaycuna, J., Herrera, E., Bermejo, L. y Cruz, G. (2022). "Correlación entre la concentración de metales pesados en el agua de consumo y la concentración de los mismos del agua superficial del río Tumbes, Perú", *Manglar*, 19(2), pp. 137-142. DOI: 10.17268/manglar.2022.017

Gavilanez, L. E. (2016) *Estudio de la concentración del plomo en el agua del Río Tumbes Periodo 2012 – 2015 como causa de la minería aurífera y su relación con la salud de los pobladores del Caserío de Rica Playa – Tumbes—2016*. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Tumbes. Disponible en: <https://repositorio.untumbes.edu.pe/items/58f5e796-0f00-49ab-b0a8-ea7a11036a75> [Consultado 22/05/2025]

Comisión Europea (2023) *Reglamento relativo a los límites máximos de determinados contaminantes en los alimentos*. Bruselas: Dirección General de Salud y Seguridad Alimentaria. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/ALL/?uri=CELEX:32023R0915> [Consultado 01-04-2025]

Marshall, B. G., Veiga, M. M., Kaplan, R. J., Adler Miserendino, R., Schudel, G., Bergquist, B. A., Guimarães, J. R., Sobral, L. G. y Gonzalez-Mueller, C. (2018) "Evidence of transboundary mercury and other pollutants in the Puyango-Tumbes River basin, Ecuador–Peru", *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20(4), pp. 632-641. DOI: 10.1039/C7EM00504K

Mestanza-Ramón, C., Paz-Mena, S., López-Paredes, C., Jimenez-Gutierrez, M., Herrera-Morales, G., D'Orío, G. y Straface, S. (2021) "History, current situation and challenges of gold mining in Ecuador's litoral region", *Land*, 10(11). DOI: 10.3390/land10111220

MINAM (2013) Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM. Lima: Ministerio del Ambiente del Perú. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf> [Consultado 14-05-2025]

MINAM (2014) *Guía para el Muestreo de Suelos*. Lima: Ministerio del Ambiente. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf> [Consultado 22-05-2025]

Mora, A. M., Jumbo-Flores, D., González-Merizalde, M. y Bermeo-Flores, S. A. (2016) "Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del río Puyango, Ecuador", *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(4), pp. 385-397. DOI: 10.20937/RICA.2016.32.04.02

Núñez, S. y Zegarra, J. (2006) Estudio geoambiental de la cuenca Puyango—Tumbes. Lima: Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/264#files> [Consultado 28-05-2025]

Peña-Murillo, R., Lavado-Casimiro, W. y Bourrel, L. (2024) "Impacts of LULC and climate change on runoff and sediment production for the Puyango-Tumbes basin (Ecuador-Peru)", *Frontiers in Remote Sensing*, 5. DOI: 10.3389/frsen.2024.1471144

Puño, N. (2014) "Environmental Management of the Puyango-Tumbes River Basin in Ecuador and Peru". En Clark, R. M. y Hakim, S. (Eds.). *Securing Water and Wastewater Systems*. Cham: Springer International Publishing. DOI: 10.1007/978-3-319-01092-2_8

Ramachandran, J., Lalitha, R., Kannan, S. V. y Sivasubramanian, K. (2022) "Assessment of water footprint based on estimated crop evapotranspiration for paddy, sugarcane and banana under semi-arid climate", *Environment Conservation Journal*, 23(1&2), pp. 302-308. DOI: 10.36953/ECJ.021805-2121

Romero-Estévez, D., Yáñez-Jácome, G. S., Simbaña-Farinango, K. y Navarrete, H. (2019) "Distribution, contents, and health risk assessment of cadmium, lead, and nickel in bananas produced in Ecuador", *Foods*, 8(8). DOI: 10.3390/foods8080330

Salgado-Almeida, B., Briones-Escalante, A., Falquez-Torres, D., Filián-Haz, K., Guzmán-Martínez, F., Escobar-Segovia, K., Peña-Carpio, E. y Jiménez-Oyola, S. (2024) "Assessment of environmental pollution and risks associated with tailing dams in a historical gold mining area of Ecuador", *Resources*, 13(8). DOI: 10.3390/resources13080105

Schudel, G., Miserendino, R. A., Veiga, M. M., Velasquez López, P. C., Lees, P. S., Winland Gaetz, S., Davée Guimarães, J. R. y Bergquist, B. A. (2018) "An investigation of mercury sources in the Puyango-Tumbes River: Using stable Hg isotopes to characterize transboundary Hg pollution", *Chemosphere*, 202, pp. 777-787. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.081

Thomas, E., Atkinson, R., Zavaleta, D., Rodriguez, C., Lastra, S., Yovera, F., Arango, K., Pezo, A., Aguilar, J., Tames, M., Ramos, A., Cruz, W., Cosme, R., Espinoza, E., Chavez, C. R. y Ladd, B. (2023) "The distribution of cadmium in soil and cacao beans in Peru", *Science of The Total Environment*, 881. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.163372

Turner, A. (2019) "Cadmium pigments in consumer products and their health risks", *Science of The Total Environment*, 657, pp. 1409-1418. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.096

Wichaidist, B., Intrman, A., Putrawutichai, S., Rewtragulpaibul, C., Chuanpongpanich, S. y Suksaroj, C. (2023) "The effect of irrigation techniques on sustainable water management for rice cultivation system - A review", *Applied Environmental Research*, 45(4). DOI: 10.35762/AER.2023024

Zhang, H. y Reynolds, M. (2019) "Cadmium exposure in living organisms: A short review", *Science of The Total Environment*, 678, pp. 761-767. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.395