

Niveles de plomo en suelo, pasto y agua en localidades cercanas al río Lerma, del Estado de México, dedicada a la ganadería

Lead levels in water, soil and grass from Valle de Lerma, State of Mexico municipalities, dedicated to livestock

Roberto Montes de Oca-Jiménez^{1‡} , Jhonny Edgar Pérez-Rodríguez²  y
María Carla Rodríguez-Domínguez¹ 

¹Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Panamericana Toluca-Atlacomulco km 15.5. 50200 Toluca, Estado de México, México.

[‡] Autor para correspondencia (romojimenez@yahoo.com)

²Universidad Técnica de Machala. Av. Panamericana km 5 1/2. Vía a Pasaje Provincia de El Oro. Machala, Ecuador.
Editora de Sección: Dra. Gabriela Rodríguez Licea

RESUMEN

En el Estado de México las localidades cercanas al río Lerma destacan por su desarrollo industrial, mismo que conlleva a la contaminación de aguas y suelos afectando la producción ganadera de la zona. Con base a este planteamiento se propone como objetivo determinar los niveles de plomo (Pb) en agua (mg L^{-1}), suelo y pasto (mg kg^{-1}) para los municipios con cuencas del río Lerma, Estado de México. Los niveles promedio más elevados de Pb en agua se observaron para El Cerrillo Vistahermosa (1.5 ± 0.4), seguido de Lerma (1.0 ± 0.2) y San Pedro Tultepec (1.0 ± 0.3). El nivel promedio de Pb en agua se encuentra en el rango de concentración permisible para aguas de uso agrícola; sin embargo, los medioambientales son elevados, reflejando una bioacumulación importante en el suelo, con valores superiores en San Pedro Tultepec (40.7 ± 18.0) y por lo tanto en el pasto. Lerma fue el municipio con mayor concentración (38.2 ± 6.9) lo que lo convierte en una fuente de riesgo para la salud animal y humana. Las localidades aledañas al río Lerma, presentan diferencias notables de Pb, observándose concentraciones más altas en áreas de mayor permanencia de agua en El Cerrillo Vistahermosa y San Pedro Tultepec. Finalmente, se encontró que el Pb obtenido en agua, suelo y pasto se encuentran por arriba del rango máximo permisible en más del 50%

de las muestras; reflejando una importante emisión de este elemento al medioambiente.

Palabras claves: niveles de plomo en suelo, pasto y agua.

SUMMARY

In the State of Mexico, the towns near the Lerma River stand out for their industrial development, which leads to the contamination of water and soil, affecting livestock production in the area. Based on this approach, the objective of this research work is to determine the levels of Lead (Pb) in water (mg L^{-1}), soil and grass (mg Kg^{-1}), for the municipalities with basins of the Lerma River, State of Mexico. The highest average levels of Pb in water were observed for El Cerrillo Vistahermosa (1.5 ± 0.4), followed by Lerma (1.0 ± 0.2) and San Pedro Tultepec (1.0 ± 0.3). The average level of Pb in water is within the permissible concentration range for water for agricultural use; however, the environmental levels are high, reflecting an important bioaccumulation in the soil, with higher values in San Pedro Tultepec (40.7 ± 18.0) and therefore in the pasture. Lerma was the municipality with the highest concentration (38.2 ± 6.9), which makes it a source of risk for animal and human health. The localities bordering the Lerma River show notable differences in

Cita recomendada:

Montes de Oca-Jiménez, R., Pérez-Rodríguez, J. E. y Rodríguez-Domínguez, M. C. (2022). Niveles de plomo en suelo, pasto y agua en localidades cercanas al río Lerma, del Estado de México, dedicada a la ganadería. *Terra Latinoamericana*, 40, 1-8. e949. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.949>

Recibido: 23 de junio de 2021. Aceptado: 31 de enero de 2022.
Artículo. Volumen 40, junio de 2022.

Pb levels, with higher concentrations being observed in areas with greater permanence of water in El Cerrillo Vistahermosa and San Pedro Tultepec. Finally, it was found that the Pb obtained in water, soil and grass are above the maximum permissible range in more than 50% of the samples, reflecting an important emission of this element to the environment.

Index words: *lead levels in soil, grass, and water.*

INTRODUCCIÓN

Los metales pesados son una fuente de contaminación que ha sido reportada en diversos estudios realizados en México (Flores *et al.*, 2012; Valdez, Hinojosa, Alfaro, Elizondo y Acuña, 2011; Franco, Vásquez, Patiño y Dendooven, 2010). En el Estado de México las localidades cercanas al río Lerma, destacan por su desarrollo industrial, mismo que conlleva a la contaminación de aguas y suelos afectando las producciones ganaderas de la zona.

La calidad de un suelo se determina según sea su capacidad para desarrollar una serie de actividades, siendo afectada de forma negativa cuando ocurre la contaminación de este. Serios problemas de toxicidad (Alloway, 2013) han sido identificados como consecuencia de contaminación de los suelos y aguas, producto a la acumulación de metales pesados (Volke, Velasco y de la Rosa, 2005), lo cual repercute en las producciones de plantas y animales (Rodríguez, Rodríguez, Lira, Martínez y Lara, 2006; Rodríguez, López y Grau, 2009).

El Plomo (Pb) se encuentra en la lista de los principales metales pesados contaminantes, que se origina en producto de fundiciones, procesamiento de metales, baterías recicladas, gasolinas, minería y contaminación atmosférica (Volke *et al.*, 2005). Las partículas de este mineral pueden llegar al agua y suelos, adhiriéndose y permaneciendo en la capa superficial. El tiempo de vida media para el Pb es de 740 a 5900 años, con niveles que dependen del tipo de suelo, la topografía, las características fisicoquímicas de las superficies y el clima (Dantu, 2009). Existen compuestos del Pb que pueden ser transformados a otras especies química; sin embargo, el Pb elemental no se degrada (ATSDR, 2007).

Los elementos con una densidad mayor a 4 g cm^{-3} y peso atómico superior a 20 son considerados metales pesados (Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

Las afectaciones que el Pb puede originar en las producciones se relacionan con mortandad del ganado y desequilibrio de los agroecosistemas. Las vías de absorción del Pb incluyen la ingestión, inhalación o el contacto dérmico, siendo el tiempo de exposición y la concentración de Pb en sangre, indicadores que influyen en el proceso de intoxicación de los tejidos (Schnaas, 1998).

Diversos autores han documentado la contaminación de suelos agrícolas (Covarrubias y Peña, 2017; Guzmán, Cruz y Valdés, 2019), agua (Prieto, González, Román y Prieto, 2009; Mancilla-Villa *et al.*, 2012) y plantas (Ismail, Fariyah y Khairiah, 2005; Nuñez *et al.*, 2007; Valentim *et al.*, 2016) con este metal pesado. La concentración de Pb en suelos destinados a la producción agrícola tiene una implicación directa en la contaminación de las plantas, debido a que los metales pesados pueden llegar a capas inferiores del suelo, mezclándose con las aguas subterráneas, siendo absorbidos por las raíces de las plantas (Fincheira, Martínez, Ortega, Janssens y Parada, 2018).

El aumento de la contaminación y su repercusión en las diferentes regiones geográficas, actualmente demandan del desarrollo de nuevas estrategias que brinden soluciones en cortos periodos de tiempo. En la actualidad se considera muy importante el monitoreo de las concentraciones de los metales pesados, como contaminantes de las zonas dedicadas a la actividad agropecuaria, por lo que el presente trabajo se enfocó en la determinación de los niveles de Pb en agua, suelo y pasto de localidades de las cuencas del río Lerma, del Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área Experimental y Toma de Muestra

El estudio se llevó a cabo en las localidades del Cerrillo Vistahermosa, Lerma, San Pedro Tultepec, San José del Llano y Santa María Atarasquillo, cercanos a la cuenca del Valle de Lerma, Estado de México. Las muestras de agua ($n = 66$) se colectaron de las cuencas del río Lerma de los municipios citados anteriormente, en los meses: noviembre, diciembre, enero y febrero.

En cada caso se recolectó 1 L de agua en frascos plásticos, y posteriormente se adicionó a cada muestra 1 mL de ácido nítrico concentrado (HNO_3) $\text{pH} = 2$, manteniéndose a temperatura ambiente hasta su procesamiento. Las muestras de suelo ($n = 101$) y pasto

(n = 90) se colectaron de sitios cercanos a la región donde se realizó la colecta de agua, obteniéndose 1 kg de tierra y el pasto correspondiente al área de muestreo, a partir de pozos de 30 cm³ de profundidad. Ambos tipos de muestras se deshidrataron al aire libre y se maceraron, tomando 0.5 g de cada una para realizar digestión con 10 mL de HNO₃ concentrado pH = 2. Posterior a la digestión las muestras se clarificaron mediante calor, en una plancha de calentamiento a 100 °C, seguido fueron filtradas con papel Whatman Núm. 41 y resuspendidas en 100 mL de agua destilada.

Determinación de Plomo

Las determinaciones de Pb se realizaron en un espectrofotómetro (Perkin Elmer 2380, USA) de absorción atómica (EPA, 1996). Se empleó una curva patrón, elaborada a partir de muestras de concentraciones conocidas (Christian, 2009). Los niveles de Pb fueron expresados para el agua en mg L⁻¹ y para suelos y pasto en mg Kg⁻¹, y calculados mediante la ecuación: # mg kg⁻¹ = (lectura-blanco) * aforo / peso de la muestra.

Análisis Estadístico

Se empleó un diseño experimental de bloques completamente aleatorizados con procedimiento de análisis de varianza para los resultados de agua, suelo y pasto, con prueba de Tukey con significancia estadística (P < 0.05) para la comparación de medias entre las variables de localidad y época de muestreo; para evidenciar la diferencia entre los resultados de bloques a los parámetros evaluados. Se establecieron las asociaciones de los niveles de Pb con los diferentes parámetros evaluados, mediante un análisis de Regresión Lineal Simple (P < 0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los niveles promedio de Pb en agua, suelos y pastos, concentración promedio general y desviación estándar se presentan en el (Cuadro 1).

Los niveles promedio más elevados de Pb en agua se observaron para El Cerrillo Vistahermosa, seguido de Lerma y San Pedro Tultepec. Por otra parte, los más bajos se presentaron en las localidades de San José del Llano y Santa María Atarasquillo, observándose diferencias estadísticas significativas entre las localidades (P < 0.05) (Cuadro 2).

Cuadro 1. Niveles promedio de plomo en agua (mg L⁻¹), suelo y pasto (mg kg⁻¹) en localidades del valle de Lerma, Estado de México, México.

Table 1. Average levels of lead in water (mg L⁻¹), soil and grass (mg kg⁻¹) in localities of the Lerma Valley, State of Mexico, Mexico.

Tipo de Muestra	Número de muestras	Rango	Promedio	Desviación estándar
Agua	66	0.2 - 3.7	1.1	0.7
Suelo	101	4.7 - 108.9	25.9	17.6
Pasto	90	1.4 - 97.46	17	18.3

Los resultados detectados sobrepasan el máximo permitido para actividades de riego, agricultura, agua potable, uso industrial y recreativo, según lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (1997). En esta se plantea que los valores de Pb en aguas de ríos empleadas para el riego deben estar por debajo de 0.5 mg L⁻¹, en aguas naturales deben ser menores de 0.0015 mg L⁻¹ (EPA, 1986), como fuente de abastecimiento de agua potable valores de 0.05 mg L⁻¹ (SEDUE, 1989) y para uso recreativo e industrial valores de 0.1 mg L⁻¹. Mientras que los valores obtenidos son acordes para el riego agrícola según lo planteado por la SEDUE, 1989, que establece como aceptables valores por debajo de 5 mg L⁻¹ (Mancilla-Villa *et al.*, 2012).

La relación de porcentajes de distribución entre los niveles de Pb en agua y las localidades bajo estudio se muestran en el Cuadro 3, destacándose un 54.54% en el rango de concentración C.M.D. (Cantidad Mínima Detectable) a 1.0 mg L⁻¹; en el rango de 1.1 a 2.1 mg L⁻¹, 34.84% y el restante 10.60% se presentó en mayores de 2.1 mg L⁻¹. La relación observada en porcentajes de distribución de Pb en suelo fue de 8.91% en el rango de concentración C.M.D. a 10 mg kg⁻¹; 40.59% en el rango de 10.1 a 20 mg kg⁻¹ y en el rango mayor a 20.1 mg kg⁻¹ con 50.49%. Los resultados de relación de porcentajes de distribución entre los niveles de Pb en pasto y las localidades, fueron para el rango de concentración de C.M.D. a 10 mg kg⁻¹ fue de 50.0% para el rango de 10.1 a 20.1 mg kg⁻¹ se observó un 28.88% y en el rango mayor de 20.1 mg/kg 21.11 por ciento.

El agua analizada provino de áreas de depósitos naturales y de aguas de la zona industrial; aguas superficiales y residuales, encontrándose niveles de 1.5 mg L⁻¹ en El Cerrillo Vistahermosa y 1.04 mg L⁻¹ en Lerma. Estos valores están por encima de los

Cuadro 2. Niveles de plomo en agua (mg L^{-1}), suelo y pasto (mg kg^{-1}) en localidades del Valle de Lerma, Estado de México.
Table 2. Lead levels in water (mg L^{-1}), soil and grass (mg kg^{-1}) in localities of Valle de Lerma, State of Mexico.

Localidad	Agua	Suelo	Pasto
El Cerrillo Vistahermosa	1.5 ± 0.4 (a)	38.5 ± 15.8 (a)	11.6 ± 4.6 (b)
Lerma	1.0 ± 0.2 (b,a)	19.3 ± 9.5 (b)	38.2 ± 6.9 (a)
San Pedro Tultepec	1.0 ± 0.3 (b,a)	40.7 ± 18.0 (a)	12.3 ± 4.0 (b)
San José del Llano	0.6 ± 0.1 (b)	18.7 ± 9.8 (b)	7.9 ± 3.7 (b)
Santa María Atarasquillo	0.5 ± 0.1 (b)	15.5 ± 6.3 (b)	7.4 ± 3.4(b)

Letras diferentes en la misma columna indican variaciones significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Different letters in the same column indicate significant variations, according to Tukey's test ($P \leq 0.05$).

encontrados por (Rozenblad, 1994¹) al realizar la evaluación del contenido de Pb en áreas pecuarias consideradas de alto riesgo (río Lerma) y bajo riesgo (Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Toluca) del Estado de México; evidencio niveles promedios de 0.25 mg L^{-1} .

Teniendo en cuenta que la distancia geográfica entre las regiones es de aproximadamente 60 km, los resultados indican que hay una deposición significativa de Pb en el área de emisión, la laguna del Valle de Lerma, donde la acumulación de agua permite que se lleve a cabo una mayor contaminación con Pb a nivel local. En otros trabajos también se ha identificado que los metales pesados se acumulan en mayor cuantía en los afluentes más cercanos a la zona industrial, donde la deposición de contaminantes es significativamente superior (Gómez, Villalba, Acosta, Castañeda y Kamp, 2004; Mancilla-Villa *et al.*, 2012). Los niveles de Pb detectados en un estudio realizado en Xochimilco (Moreno, Zugazagoitia, Sánchez, Córdoba y Melo, 2012) presentaron valores superiores a los máximos permisibles para su empleo como agua potable (0.025 mg L^{-1}) según la Norma Mexicana (NOM-127-SSA1-1994, 1994), aunque considerados dentro lo aceptado para aguas residuales ($0.5\text{-}1.0 \text{ mg L}^{-1}$) (NOM-001ECOL, 1996, 1997).

Los valores de Pb en suelo más elevados fueron observados en las localidades de San Pedro Tultepec y El Cerrillo Vistahermosa, mientras que las concentraciones menores se presentaron en Lerma, San José del Llano y Santa María Atarasquillo, con diferencias estadísticas entre las localidades evaluadas ($P < 0.05$) Cuadro 2. Las concentraciones de Pb en suelo determinados como permisibles por la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se encuentran en un rango entre

5 a 25 mg kg^{-1} , siendo los valores detectados en los estudios aceptables.

En un trabajo realizado en el Valle de Mezquital, México, se estableció que la concentración máxima permisible para Pb se encuentra de 3.7 mg kg^{-1} (Vázquez *et al.*, 2005); quedando los valores obtenidos en El Cerrillo Vista hermosa y San Pedro Tultepec por encima de lo establecido. Existe una gran variedad de factores que determinan la presencia de Pb en suelo, dentro de los más importantes están el pH, la cantidad de materia orgánica, el tipo de suelo, la interacción de los metales entre sí y las reacciones químicas de los elementos minerales.

En términos generales, la presencia de Pb en suelo y un pH ácido permiten una mayor movilidad y biodisponibilidad para las plantas, por lo que a través de estos procesos se promueve un intercambio catiónico con otros minerales, formando así compuestos con mayor solubilidad; asimismo, el pH ácido relacionado con la alta humedad del suelo permite una mayor biodisponibilidad (Covarrubias y Peña, 2017).

Entre los sitios más afectados por la contaminación con metales pesados en México, se incluyen los Estados de Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí (Costilla *et al.*, 2010; González, Gómez y Ruiz, 2012; Mireles *et al.*, 2012; Cortés-Jiménez *et al.*, 2013). En los municipios de San Nicolás de los Garza, Ciénega de Flores, Monterrey, García, Pesquería, y General Escobedo, pertenecientes al Estado de Nuevo León, los valores de Pb total y lixiviable, en suelos cercanos a zonas industriales y empresariales, oscilaron entre 42.38 mg kg^{-1} y $21\ 101.64 \text{ mg kg}^{-1}$ para Pb total, y entre, 0.02 mg L^{-1} y 3.34 mg L^{-1} para Pb lixiviable (Almaguer, 2012²).

¹ Rozenblad, E. F. (1994). *Evaluación de los niveles de Plomo en dos explotaciones bovinas lecheras bajo condición de estabulación con y sin impacto ambiental, en el Estado de México*. Tesis para obtener el grado de Maestría. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México.

Cuadro 3. Frecuencia y porcentaje de distribución de los valores de plomo en agua (mg L⁻¹), suelo y pasto (mg Kg⁻¹), de localidades del Valle de Lerma, México.

Table 3. Frequency and percentage of distribution of lead values in water (mg L⁻¹), soil and grass (mg Kg⁻¹), of localities of Valle de Lerma, Mexico.

Localidad	Rango de distribución de plomo																	
	Agua (mg L ⁻¹)						Suelo (mg kg ⁻¹)						Pasto (mg kg ⁻¹)					
	CMD 1.0	1.1 - 2.0	> 2.1	CMD 1.0	10.1 - 20.0	> 20.1	CMD 10.0	10.1 - 20.0	> 20.1									
----- Frecuencia (%) -----																		
El Cerrillo Vistahermosa	6	9	8	12.1	5	7.6	-	-	-	-	29	28.1	23	25.5	13	14.4	3	3.3
Santa María Atarasquillo	4	6.06	-	-	-	--	4	3.96	21	20.79	5	4.95	6	66.6	2	2.22	--	--
Lerma	17	26	6	9.09	2	3.03	3	2.9	8	7.92	7	6.93	1	1.11	6	6.66	13	14.4
San José del Llano	3	4.54	-	-	-	-	2	1.98	7	6.93	4	3.96	6	6.66	--	--	1	1.11
San Pedro Tultepec	6	9.09	9	13.6	-	-	-	-	5	4.95	6	5.94	9	10	5	5.55	2	2.22
Total	36	54.5	23	34.8	7	10	9	8.91	41	40.59	51	50.49	45	50	26	28.8	19	21.1

CMD = cantidad mínima detectable. Agua (0.05 mg L⁻¹), suelo (0.04 mg kg⁻¹), pasto (0.06 mg kg⁻¹).
 CMD = minimum detectable amount. Water (0.05 mg L⁻¹), soil (0.04 mg kg⁻¹), grass (0.06 mg kg⁻¹).

Con respecto a los valores de Pb detectados en pasto, los más elevados se identificaron en Lerma (38.2 ± 6.9 mg kg⁻¹) observándose diferencias estadísticas significativas respecto al resto de las localidades (P < 0.05) (Cuadro 2). El pasto constituye un elemento importante de relación entre el medio ambiente y el animal, por lo que el impacto ocurrido en él constituye un factor más de exposición para los animales. Los niveles normales de Pb recomendados en plantas son de 2 - 5 mg kg⁻¹ y el nivel fitotóxico aún no ha sido determinado (Covarrubias y Peña, 2017).

Los niveles de Pb en pasto fueron de 0.25 mg kg⁻¹ y 0.5 mg kg⁻¹ determinados por Rozenblad (1994¹) en forrajes de dos explotaciones bovinas productoras de leche; una de bajo riesgo y otra de alto riesgo, respectivamente; cifras que difieren a las obtenidas en nuestro estudio.

En el presente estudio se obtuvo un promedio general de 17.026 mg kg⁻¹ de plomo en pasto, la concentración promedio más baja fue de 7.49 mg kg⁻¹ en la localidad de Atarasquillo y la más alta se encontró en Lerma con un promedio de 28.27 mg kg⁻¹. Por otra

parte, el trabajo de Rozenblad (1994¹) realizado en áreas agrícolas, los valores más elevados fueron los observados en pastos provenientes de áreas irrigadas con aguas del río Lerma, en comparación con los de zonas irrigadas con pozo profundo. En las áreas de muestreo, se detectaron diferencias estadísticas significativas (P < 0.05), con niveles promedio de Pb hasta de 38.27 mg kg⁻¹; reflejando un grado de exposición importante en el área.

Experimentalmente, se ha observado que los forrajes obtenidos en viveros, en comparación con los que crecen a niveles de campo, usando el mismo tipo de suelo, muestran mayor capacidad de absorción de Pb; lo anterior ha sido explicado en función de la variedad de aspectos que participan en el crecimiento de la planta como son: la humedad, el pH, el tamaño y la cantidad de raíces; siendo mínima la variación en condiciones controladas. En la parte interna de la planta se ha encontrado que el Pb tiene poca movilidad, variando su distribución con relación a la capa, etapa vegetativa y órgano; las concentraciones más altas se encuentran en la raíz y tallo (Munive *et al.*, 2020; Soto-Benavente *et al.*, 2020).

²Almaguer Y. (2012). *Caracterización de los niveles de plomo presentes en el suelo superficial, en la periferia de empresas, en el Área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México.* Tesis para obtener el grado de Maestra en ciencias con orientación en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Autónoma de Nuevo León. Disponible en <http://eprints.uanl.mx/2510/1/1080256469.pdf>.

La correlación entre los niveles de Pb en agua y suelo fue de $r = 0.32$, entre suelo y pasto de $r = 0.47$ y en agua y pasto de $r = 0.07$ ($P < 0.05$). Los estudios de Pb en agua, suelo y pasto en las diferentes áreas de estudio mostraron una baja concentración; sin embargo, se observó un mayor nivel de Pb en las muestras provenientes de las localidades con mayor densidad industrial, como es el caso de Lerma, El Cerrillo Vistahermosa y San Pedro Tultepec. La acumulación de este contaminante en el agua en estas localidades es mayor, en comparación con las localidades de San José del Llano y Santa María Atarasquillo, que tienen menor densidad de industrias y menor número de fuentes de eliminación y acumulo de aguas residuales provenientes del área industrial y de precipitación pluvial.

CONCLUSIONES

El nivel promedio de Plomo en agua se encuentra en el rango de concentración establecido como permisible para aguas de uso agrícola; sin embargo, los niveles medioambientales son elevados, reflejando una bioacumulación importante en el suelo y por ende en el pasto, representando un riesgo potencial para la salud animal y la salud humana. Las localidades de Lerma presentan diferencias notables en la concentración de los niveles de este elemento, observándose concentraciones más altas en áreas de mayor permanencia de agua, El Cerrillo Vistahermosa y San Pedro Tultepec. Los niveles de Pb obtenidos en agua, suelo y pasto, se encuentran por arriba del rango máximo permisible en más del 50% de las muestras; reflejando una importante eliminación de elementos al ambiente.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

En la presente investigación no se emplearon muestras de humanos o animales; tampoco con datos personales.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los datos están disponibles previa solicitud razonable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores expresan que no hay ningún conflicto de interés.

FONDOS

El presente proyecto fue financiado parcialmente por la Universidad Autónoma del Estado de México a través de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Salud Animal.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Líder del proyecto, participó en la planeación del proyecto, el análisis de los resultados y la integración del artículo: R.M.J. Participó en el análisis de los resultados y en la integración del artículo: J.E.P.R. Participó en la generación de los resultados y en la integración del artículo: M.C.R.D.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento parcial del proyecto.

LITERATURA CITADA

- Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. (pp. 587). Whiteknights, United Kingdom: Springer.
- ATSDR (Agency For Toxic Substances And Disease Registry). (2007). *ToxFAQs for Lead*. Consultado el 30 de diciembre, 2020, desde <http://www.atsdr.cd.gov/toxfaqs/tfacts13.pdf>.
- Christian, G. D. (2009). *Química analítica*. México: McGraw-Hill. ISBN: 9789701072349
- Covarrubias, S. A., & Peña-Cabriales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Costilla-Salazar, R., Trejo-Acevedo, A., Rocha-Amador, D., Gaspar-Ramírez, O., Díaz-Barriga, F., & Pérez- Maldonado, I. N. (2010). Assessment of polychlorinated biphenyls and mercury levels in soil and biological samples from San Felipe, Nuevo Mercurio, Zacatecas, Mexico. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 86(2), 212-216 <https://doi.org/10.1007/s00128-010-0165-z>
- Cortés-Jiménez, E. V., Mugica-Álvarez, V., González-Chávez, M. C. A., Carrillo-González, R., Gordillo, M. M., & Mier, M. V. (2013). Natural revegetation of alkaline tailing heaps at Taxco,

- Guerrero, Mexico. *International Journal of phytoremediation*, 15(2), 127-141. <https://doi.org/10.1080/15226514.2012.683208>
- Guzmán-Morales, A. R., Cruz-La Paz, O., & Valdés-Carmenate, R. (2019). Effects of the Pollution by Heavy Metals in a Soil with Agricultural Use. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1).
- Dantu, S. (2009). Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traídos en suelos de la Comunidad de Madrid, Serie Medio Ambiente. *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 213-222.
- NOM-127-SSA1-1994 (Norma Oficial Mexicana). (1994). Salud ambiental. agua para uso y consumo humano. límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud, *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México: SEGOB.
- NOM-001-ECOL-1996 (Norma Oficial Mexicana). (1997). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, publicada el 06 de enero de 2002. *Diario Oficial de la Federación*, Ciudad de México, México: SEGOB.
- EPA (Environmental Protection Agency). (1986). *Gold book of quality criteria for water*. Washington, DC, USA: EPA
- EPA (Environmental Protection Agency). (1996). *Methods 6010B. Inductively coupled plasma- atomic emission spectrometry*. Las Vegas, NV, USA: EPA
- Fincheira-Robles, P., Martínez-Salgado, M., Ortega, R., Janssens M., & Parada-Ibañez, M. (2018). Soil quality indicators in table grape (*Vitis vinifera* cv. Thompson seedless) crops under integral nutrition management. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 17-24.
- Flores-Ramírez, R., Rico-Escobar, E., Núñez-Monreal, J. E., García-Nieto, E., Carrizales, L., Ilizaliturri-Hernández, C., & Díaz-Barriga, F. (2012). Exposición infantil al plomo en sitios contaminados. *Salud Pública México*, 54(4), 383-392.
- Franco-Hernández, M. O., Vázquez-Murrieta, M. S., Patiño-Sisiliano, A., & Dendooven, L. (2010). Heavy metal concentration in plant growing on mine tailings in Central Mexico. *Bioresource Technology*, 101(11), 3864-3869. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.013>
- Gómez-Álvarez, A., Villalba-Atondo, A., Acosta-Ruiz, G., Castañeda-Olivares, M., & Kamp, D. (2004). Metales Pesados en el agua superficial del Río de San Pedro en 1997-1999. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(1), 1-8.
- González-Dávila O., Gómez-Bernal, J. M., & Ruíz-Huerta, E. A. (2012). Plants and soil contamination with heavy metals in agricultural areas of Guadalupe, Zacatecas, Mexico. In J. K. Srivastava (Ed.). *Environmental contamination* (pp. 37-50). Rijeka, Croacia: Intech Open <https://doi.org/10.5772/31062>
- Ismail, B. S., Fariyah, K., & Khairiah, J. (2005). Bioaccumulation of heavy metals in vegetables from selected agricultural areas. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(2), 320-327. <https://doi.org/10.1007/s00128-004-0587-6>
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T., & Muñoz-García, F. G. (2016). Risk of heavy metals in human and animal health. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Mancilla-Villa, O.R., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., & Reyes-Ortigoza, A. L. (2012). Metales pesados totales y Arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(1), 39-48.
- Mireles F., Dávila, J. I., Pinedo, J. L., Reyes, E., Speakman, R. J., & Glascock, M. D. (2012). Assessing urban soil pollution in the cities of Zacatecas and Guadalupe, Mexico by instrumental neutron activation analysis. *Microchem Journal*, 103, 158-164. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2012.02.009>
- Moreno-Bonett, C., Zugazagoitia-Herranz, R., Sánchez-Martínez, C., Córdoba-Moreno, R., & Melo-Ruiz, V., (2012). Determinación de metales pesados en el agua de un canal de Xochimilco (México, D.F.) como proyecto de Servicio. *Social. Educación Química*, 23(3), 375-382. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30123-4](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30123-4)
- Munive-Cerrón, R., Gamarra-Sánchez, G., Muvive-Yachachi, Y., Puertas-Ramos, F., Valdiviezo-Gonzales, L., & Cabello-Torres, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado y remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>
- Núñez, A., Martínez, S., Moreno, S., Cárdenas, M. L., García, G., Hernández, J. L., Rodríguez, A., & Castillo, I. (2007). Determinación de metales pesados (aluminio, plomo, cadmio y níquel) en rábano (*Raphanus sativus* L.), brócoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) y calabacín (*Cucurbita pepo* L. var. *italica*). *Universidad Autónoma de Nuevo León, México*. 1-8.
- Prieto-Méndez, J., González-Ramírez, C. A., Román-Gutiérrez, A. D., & Prieto-García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelo y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.
- Rodríguez-Martin, J. A., López-Arias, M., & Grau-Corbi, J. M. (2009). *Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de los suelos agrícolas y pastos de España* (pp. 153-182). Madrid, España: INIA. ISBN: 9788449109805
- Rodríguez-Ortiz, J. C., Rodríguez-Fuentes, H., G. Lira Reyes, G., Martínez de la Cerda, J., & Lara-Mireles, J. L. (2006). Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(3), 239-245.
- Schnaas, M. de L. (1998). Plomo y nutrición. *Cuadernos de Nutrición*, 21(1), 9-12.
- Soto-Benavente, M., Rodríguez-Achata, L., Olivera, M., Arostegui-Sánchez, V., Colina-Nano, C., & Garate-Quispe, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonia peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.06>
- SEDUE (Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología). (1989). Acuerdo Oficial Mexicano CE-CCA-001/89. Por el que se establecen los criterios ecológicos de calidad de agua. *Diario Oficial de la Federación*. D. F., México: SEGOB.
- Valdez-Cerda, E., Hinojosa-Reyes, L., Alfaro-Barbosa, J. M., Elizondo-Martínez, P., & Acuña-Askar, K. (2011). Contamination and chemical fractionation of heavy metals in street dust from the Metropolitan Area of Monterrey, México. *Environmental Technology*, 32(10), 1163-1172. <https://doi.org/10.1080/09593330.2010.529466>
- Valentim-Dos Santos, J., Varón-López, M., Fonseca-Sousa Soares, C. R., Lopes-Leal, P., Siqueira, J. O., & de Souza-Moreira,

- F. M. (2016). Biological attributes of rehabilitated soils contaminated with heavy metals. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 6735-6748. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5904-6>.
- Vázquez-Alarcón, A., Cajuste, L. J., Carrillo-González, R., Zamudio-González, B., Álvarez-Sánchez, E., & Castellanos-Ramos, J. Z. (2005). Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del Valle de Mezquital, Hidalgo. *Terra Latinoamericana*, 23(4), 447-455.
- Volke-Sepulveda, T., Velasco-Trejo, J. A., De la Rosa-Pérez, D. A. (2005). *Suelos contaminados con metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación* (pp. 31-35) Ciudad de México, México: SEMARNAT-INEC.