

RIESGO TOXICOLÓGICO POR PLOMO, CADMIO Y MANGANESO EN SUELOS DEL DR028, TULANCINGO, HIDALGO, MÉXICO

Oscar Jesús Romero-Oliva*
Otilio Arturo Acevedo-Sandoval¹
Francisco Prieto-García¹
Judith Prieto-Méndez²

¹ Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Área Académica de Química. Doctorado en Ciencias Ambientales.

² Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

*Correo: oscar_romero@uaeh.edu.mx

RESUMEN

Introducción: En México, los Distritos de Riego (DR) son proyectos de irrigación agrícola. El DR028 abarca gran parte de Tulancingo, Hidalgo. Las parcelas regadas con agua del DR028 pueden presentar contaminación por metales pesados debido a la naturaleza de la misma, que es residual. *Objetivo:* El objetivo del presente trabajo es determinar la presencia de plomo (Pb), cadmio (Cd) y manganeso (Mn) en suelos del DR028 para realizar una Evaluación de Riesgo Toxicológico (ERT) en población adulta por exposición a estos metales. *Métodos y materiales:* La colecta y preparación de las muestras de suelo se hizo con base en la NOM-021-RECNAT-2000. Se determinó la presencia de metales por fotolorimetría en extracto de saturación de suelo. La ERT se realizó a través de la metodología OMS/OPS y ATSDR para evaluación de riesgos, calculando la Dosis de Exposición (DE) y el Cociente de Riesgo (CR). *Resultados:* La concentración promedio de estos metales en suelos de las parcelas (mg/kg), fue de 0.9 para plomo, 0.25 para cadmio y de 43.4 para manganeso. La DE (mg/kg/día) calculada fue de 0.0003857 para plomo, 0.000076429 para cadmio y 1.426 para manganeso. El CR para Pb fue de 2.755, para Cd de 0.076 y para Mn de 10.19. *Conclusión:* De acuerdo con el CR calculado, existe un riesgo toxicológico aceptable por exposición a plomo y manganeso en pobladores de las zonas urbanas y periurbanas del DR028. Para cadmio el riesgo es inaceptable, aunque es importante analizar otras matrices ambientales como agua y aire.

Palabras clave: Evaluación de Riesgo Toxicológico, Dosis de Exposición, Cociente de Riesgo, Distrito de Riego 028.

ABSTRACT

Introduction: In Mexico, the Irrigation Districts (DR) are agricultural irrigation projects. The DR028 covers a large part of Tulancingo, Hidalgo. The plots irrigated with water from DR028 may present contamination

by heavy metals due to its nature, which is residual. *Objective:* The objective of this work is to determine the presence of lead (Pb), cadmium (Cd) and manganese (Mn) in DR028 soils to carry out a Toxicological Risk Assessment (TRA) in the adult population due to exposure to these metals. *Methods and materials:* The collection and preparation of soil samples was done based on NOM-021-RECNAT-2000. The presence of metals was determined by photolorimetry in soil saturation extract. The TRA was carried out using the WHO/PAHO and ATSDR methodology for risk assessment, calculating the Exposure Dose (ED) and the Hazard Quotient (HQ). *Results:* The average concentration of these metals in the soil of the plots (mg/kg) was 0.9 for lead, 0.25 for cadmium and 43.4 for manganese. The ED (mg/kg/day) calculated was 0.0003857 for lead, 0.000076429 for cadmium, and 1.426 for manganese. The HQ for Pb was 2.755, for Cd 0.076 and for Mn 10.19. *Conclusion:* According to the calculated HQ, there is an acceptable toxicological risk due to exposure to lead and manganese in residents of the urban and peri-urban areas of DR028. For cadmium the risk is unacceptable, although it is important to analyze other environmental matrices such as water and air.

Keywords: Toxicological Risk Assessment, Exposure Dose, Hazard Quotient, Irrigation District 028.

INTRODUCCIÓN

En México, los Distritos de Riego (DR) se establecen por Decreto Presidencial, son proyectos de irrigación que incluyen pozos, canales y plantas de bombeo con fines agrícolas. Se conforman por varias superficies delimitadas que cuentan con obras de infraestructura hidráulica, aguas del subsuelo, aguas superficiales y vasos de almacenamiento (Ley de Aguas Nacionales, Artículo 3, Fracción XXV. a.). Por otra parte, la Unidad de Riego refiere un área agrícola que de igual manera cuenta con infraestructura y sistemas de riego, pero que es diferente a un distrito de riego, principalmente por ser de menor superficie (Ley de Aguas Nacionales, Artículo 3, Fracción LI.).

Particularmente el DR028 se encuentra en Tulancingo, Hidalgo, México. La cosecha anual se aproxima a 850 ha, se cultiva avena forrajera verde, maíz, alfalfa y trébol verde, la ingesta directa es únicamente de maíz, siendo los otros tres cultivos empleados como pastura para ganado (Torres et al., 2020). Las fuentes principales de riego agrícola son aguas residuales mayoritariamente y agua potable en menor cantidad. Esto representa un problema en materia de salud pública, ya que las aguas residuales transportan contaminantes en el sistema agua-suelo-cultivo, entrando en contacto eventualmente con el humano a través de tres principales rutas de exposición (ATSDR, 2008): Por vía inhalatoria de partículas suspendidas de suelo, por

vía dérmica al contacto directo con agua y/o suelo y por vía digestiva en la ingesta de alimentos contaminados, de manera directa (ingesta de maíz) o de forma indirecta (carne de animales de ganado). El objetivo del presente trabajo es realizar una evaluación de riesgo toxicológico en población adulta, para lo cual es necesario caracterizar los suelos agrícolas de tres parcelas irrigadas por el DR028, así como evaluar la presencia de tres metales; plomo (Pb), cadmio (Cd) y manganeso (Mn). Estos metales a concentraciones elevadas pueden representar un riesgo para la salud humana por intoxicación aguda o crónica.

Las manifestaciones clínicas y los efectos nocivos de estos metales dependerán del tiempo, frecuencia y dosis de exposición. De manera muy general, el exceso de plomo puede generar disminución de memoria, problemas de aprendizaje, pérdida de habilidad verbal, letargia, fatiga, mialgias, molestias abdominales, daño hematológico y renal (Oliva et al., 2022). El exceso de cadmio puede ocasionar insuficiencia renal, edema cerebral, hemorragias, hipertensión arterial y enfisema pulmonar (Pérez, 2012). Por otra parte, el manganeso en elevadas concentraciones puede alterar las capacidades motoras, además de ser perjudicial a nivel hematológico, endócrino, cardiovascular y hepático (Rodríguez, 2017). El riesgo de padecer alguna enfermedad asociada a estos metales es mayor en la población especial (niños, ancianos y mujeres embarazadas), sin embargo, el presente artículo excluye estos grupos por recomendación del comité de bioética de la institución sanitaria que dio autorización para la realización de este trabajo.

MATERIAL Y MÉTODOS

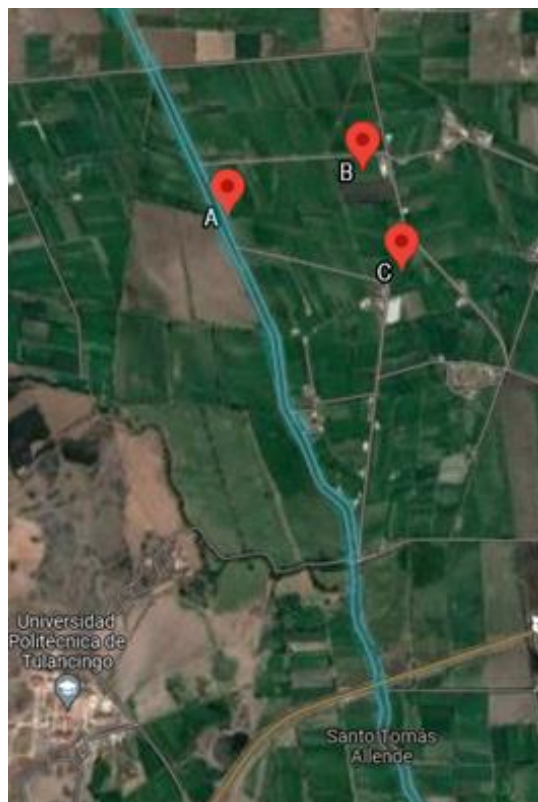
Estudio de tipo descriptivo, experimental y analítico. El muestreo de suelos se realizó al norte de la Universidad Politécnica de Tulancingo y al oeste del parque San Nicolás Cebolletas, con los criterios de la NOM-021-RECNAT-2000 (Método AS-01). Se establecieron 3 puntos de colecta específicos (figura 1), las áreas de muestreo para los puntos seleccionados fueron parcelas de 100 m². Se tomaron 13 submuestras por parcela, para dar un total de 39 submuestras. El tamaño de muestra se calculó partiendo de la siguiente expresión (Suárez, 2012; Ullman, 2013):

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{(N-1) \times e^2 + Z^2 \times p \times q} \quad (\text{Ec.1})$$

En dónde: n es el tamaño de la muestra a tomar; p la probabilidad a favor; q la probabilidad en contra; Z el nivel de confianza; N como universo o población total y e representa el nivel de error de estimación. En la Figura 1 se muestran los puntos de colecta específicos. El punto A está ubicado en las coordenadas:

20°09'11.5"N 98°22'27.7"W. El punto B, ubicado en las coordenadas: 20°09'05.5"N 98°22'05.3"W. El punto C, situado en las coordenadas: 20°09'17.1"N 98°22'09.2"W. La línea azul representa el trayecto del DR028.

FIGURA 1. PUNTOS DE COLECTA ESPECÍFICOS

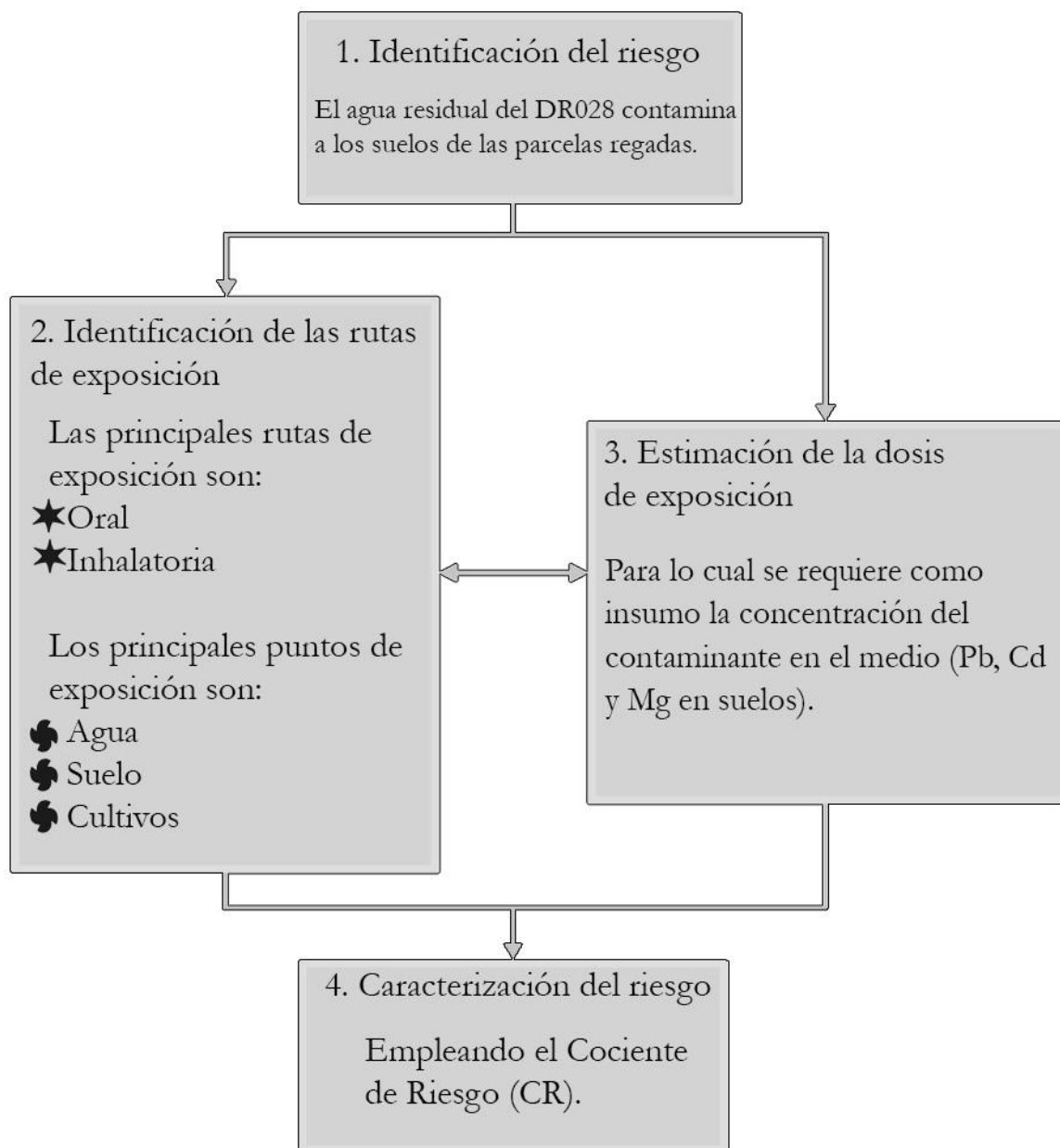


Fuente: Google Maps; Imagen capturada el 01 de mayo del 2022.

Las submuestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente, molidas y tamizadas. Se homogenizaron las 13 submuestras de cada parcela para dar un total de 3 muestras compuestas. Se obtuvo la pasta y el extracto de saturación (ES) para la medición de parámetros fisicoquímicos y determinación de metales a través del método AS-16 de la norma mencionada anteriormente. La cuantificación de plomo y cadmio se determinó por fotocolorimetría en extracto de saturación, por otra parte, la determinación de manganeso en ES se realizó con la maleta para análisis multiparamétricos de suelos firma LaMotte, modelo SCL-12 SMART 3 Soil Lab. Se usaron 10 ml de ES, a los cuales se le adicionaron 0.2 g de buffer (ácido cítrico y fosfato de sodio), se agitó la solución, posteriormente se agregaron 0.15g de metaperiyodato de sodio y se dio lectura en la maleta (Manual del Operador, SMART 3 Soil Colorimeter, Firmware Versión 2.10).

Para determinar el riesgo toxicológico se emplearon las metodologías propuestas por la OMS/OPS y ATSDR (Olórtegui et al., 2020), las cuales de manera consensuada consisten en cuatro pasos fundamentales (figura 2). Mismos que tienen como finalidad determinar el Cociente de Riesgo (CR), para el cual se necesita calcular la Dosis de Exposición (DE). En la figura 2 se encuentran los pasos utilizados para realizar la evaluación de riesgo toxicológico por Pb, Cd y Mg en suelos del DR028.

FIGURA 2. PASOS PARA REALIZAR EVALUACIÓN DE RIESGO TOXICOLÓGICO PARA Pb, Cd Y Mg



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, A PARTIR DE OMS (2017)



Para el cálculo de la Dosis de Exposición se empleó la siguiente fórmula (ATSDR, 2008):

$$DE = \frac{C \times TI \times FE}{PC} \text{ (Ec. 2)}$$

En donde:

- DE: Dosis de Exposición (mg/kg/día)
- C: Concentración del Contaminante (mg/kg)
- TI: Tasa de Ingesta (mg/día)
- FE: Factor de Exposición
- PC: Peso Corporal (kg)

El FE se calculó con la siguiente fórmula (ATSDR, 2008):

$$FE = \frac{\text{Número de días de exposición por año} \times \text{Número de años de exposición}}{\text{Días por año} \times \text{Número de años de exposición}} \text{ (Ec. 3)}$$

Cuando la exposición es diaria, el FE es igual a 1. La TI es un valor estimado propuesto por diversas agencias que se encargan del monitoreo ambiental de sustancias tóxicas. En este estudio en particular la Tasa de Ingesta para plomo fue de 30 µg/día (EFSA, 2010), la TI para manganeso fue de 2.3 mg/día (NIH, 2019), y la TI para cadmio fue de 21.4 µg/día (EFSA, 2011).

El PC es una constante propuesta por la ATSDR, siendo 70 kg en adultos y 16 kg para niños.

El Cociente de Riesgo (CR) se calculó con la siguiente fórmula (Olórtegui et al., 2020):

$$CR = \frac{\text{Dosis de Exposición}}{\text{Dosis de Referencia}} \text{ (Ec. 4)}$$

Las dosis de referencia (mg/kg/día) para cadmio y manganeso están dadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés); siendo 1×10^{-3} y 1.4×10^{-1} respectivamente. La dosis de referencia para plomo es de 1.4×10^{-4} , está dada por el Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Qu et al., 2012).

La interpretación para el Cociente de Riesgo se basa en dos premisas:

- $CR > 1$ Riesgo aceptable.
- $CR < 1$ Riesgo inaceptable.

El Índice de Peligrosidad (IP) (Ecuación 5), es un valor que se calcula sumando los Cocientes de Riesgo y analiza el riesgo en conjunto de diversas sustancias químicas, la interpretación es la misma que la del CR, en donde valores mayor a 1 representan un riesgo aceptable, y valores por debajo a 1 representan un riesgo inaceptable.

$$IP = CR_1 + CR_2 + CR_3 \dots \text{ (Ec. 5)}$$

RESULTADOS

Los resultados para la determinación de la concentración de plomo, cadmio y manganeso en extractos de saturación de suelo, están dados en mg/kg. En las tablas 1, 2 y 3 se presentan esta información. Se trabajó con la media aritmética de las parcelas A, B y C para determinar la dosis de exposición.

TABLA 1. CONCENTRACIÓN DE PLOMO (MG/KG) EN EXTRACTO DE SATURACIÓN SUELO DE LAS PARCELAS A, B Y C.

Plomo (mg/kg)				
Réplica	Parcela A	Parcela B	Parcela C	Medias
1	0.97	0.78	1.01	0.92
2	0.86	0.81	0.95	0.87
3	0.93	0.84	0.91	0.89
4	1.02	0.79	0.94	0.92
5	0.95	0.77	0.92	0.88
Media	0.95	0.80	0.95	0.90
Desv. Est.	0.0524	0.0248	0.0350	0.0189
%CV	5.54	3.11	3.70	2.10

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 2. CONCENTRACIÓN DE CADMIO (MG/KG) EN EXTRACTO DE SATURACIÓN SUELO DE LAS PARCELAS A, B Y C.

Cadmio (mg/kg)				
Réplica	Parcela A	Parcela B	Parcela C	Medias
1	0.35	0.22	0.28	0.28
2	0.31	0.19	0.22	0.24
3	0.28	0.20	0.25	0.24
4	0.33	0.18	0.22	0.24
5	0.30	0.21	0.24	0.25
Media	0.31	0.20	0.24	0.25
Desv. Est.	0.0242	0.0141	0.0223	0.0160
%CV	7.70	7.07	9.20	6.35

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 3. CONCENTRACIÓN DE MANGANESO (MG/KG) EN EXTRACTO DE SATURACIÓN SUELO DE LAS PARCELAS A, B Y C.

Manganeso (mg/kg)				
Réplica	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Medias
1	27.00	30.00	72.00	43.00
2	30.00	30.00	84.00	48.00
3	30.00	30.00	72.00	44.00
4	30.00	30.00	60.00	40.00
5	30.00	24.00	72.00	42.00
Media	29.40	28.80	72.00	43.40
Desv. Est.	1.2000	2.4000	7.5895	2.6533
%CV	4.082	8.33	10.54	6.11

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Los cálculos toman en cuenta el factor de exposición de 1, debido a la exposición diaria de los pobladores que habitan esta zona de estudio. El peso corporal usado fue de 70 kg como la constante propuesta para

adultos, la tasa de ingesta (TI) en plomo y cadmio se convierte de microgramos a miligramos, las ecuaciones 5, 6 y 7 muestran los cálculos para determinar la dosis de exposición de plomo, cadmio y manganeso.

$$DE_{Pb} = \frac{0.9mg/kg \times 0.03mg/día \times 1}{70 kg} \quad DE_{Cd} = \frac{0.25mg/kg \times 0.0214mg/día \times 1}{70 kg}$$

$$DE_{Mn} = \frac{43.4mg/kg \times 2.3mg/día \times 1}{70 kg}$$

(Ec. 6, 7 y 8)

El resultado de las ecuaciones anteriores se divide entre la dosis de referencia para calcular el Cociente de Riesgo, en la siguiente tabla se muestran los resultados.

TABLA 4. COCIENTE DE RIESGO PARA PLOMO, CADMIO Y MANGANESO.

Metal	C	TI	FE	PC	DE	DR	CR
	(mg/kg)	(mg/día)		(kg)	(mg/kg/día)	(mg/kg/día)	
Pb	0.90	0.030	1	70	0.0003857	1.4x10 ⁻⁴	2.755
Cd	0.25	0.0214	1	70	0.000076429	1x10 ⁻³	0.076
Mn	43.40	2.3	1	70	1.426	1.4x10 ⁻¹	10.19

*C: CONCENTRACIÓN DEL CONTAMINANTE/TI: TASA DE INGESTA/FE: FACTOR DE EXPOSICIÓN/DE: DOSIS DE EXPOSICIÓN/DR: DOSIS DE REFERENCIA/ IP: ÍNDICE DE PELIGROSIDAD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La interpretación del cociente de riesgo para plomo y manganeso sugiere un riesgo aceptable, debido a que el resultado es mayor a 1. Por otra parte, el riesgo para cadmio es inaceptable, pues el resultado es menor a la unidad. En este estudio el IP calculado para los tres metales estudiados es 13.021, por lo cual hay un riesgo inminente en los pobladores del DR028 (Ecuación 9).

$$IP = 2.755 + 0.076 + 10.19 = 13.021 \text{ (Ec. 9)}$$



DISCUSIÓN

Las rutas de exposición importantes para estos tres metales son la oral y la inhalatoria, ya que la vía dérmica es básicamente impermeable para el plomo (Oliva et al., 2022) e irrelevante para el cadmio y el manganeso. De acuerdo con la ATSDR (2008), una dosis de exposición de una sustancia química se calcula con la misma fórmula independientemente de si la sustancia química se ingirió en el agua, el suelo o en alimentos, por lo cual, es irrelevante si los cultivos se ingieren de manera directa o indirecta. Sin embargo, es importante mencionar que dentro del sistema agua-suelo-cultivo-ganado-humano, puede existir un fenómeno de biomagnificación, por ello, Bleam (2016), emplea modificaciones en las fórmulas dependiendo si se trata de una dosis de exposición oral directa/indirecta, dérmica o inhalatoria. De igual manera, al existir diferentes matrices ambientales (puntos de exposición); que puede ser agua, aire, suelo o sedimentos, las fórmulas pueden modificarse, pero el resultado es similar a la fórmula general.

De acuerdo con Cockerham y Shane (2019), el Cociente de Riesgo se aplica para analizar sustancias o contaminantes de manera independiente, únicamente arroja dos posibles resultados, riesgo aceptable o riesgo inaceptable, por lo cual no se puede generar una escala de riesgo con base en los valores obtenidos. Algunos estudios como el de Sánchez-Olivares et al. (2021), proponen una escala de riesgo que incluye: riesgo alto, medio alto, medio, bajo o incertidumbre. Emplean la metodología propuesta por la ATSDR, además un conjunto amplio de características fisicoquímicas propias del contaminante o metal en cuestión, riesgo genotóxico y riesgo específico de cáncer, entre otros. Lo cual dificulta el esclarecimiento del riesgo particular por un metal o un conjunto de metales.

Finalmente, el plomo y el cadmio no tienen funciones biológicas, es por eso que las tasas de ingesta son extremadamente bajas, por otra parte, el manganeso es indispensable en humanos para producir energía y dar protección celular, además de participar en la coagulación sanguínea (Huante, 2020). Puede ser tóxico solamente en cantidades extremadamente altas. Los biomarcadores de Mn en sangre son de 4-15 mg/L, en orina de 1-8mg/L (orina) y en suero de 0.4-0.85 mg/L (Jiang et al., 2007). La medición de la exposición a manganeso con pruebas de laboratorio comunes es compleja, pues dicho metal se elimina del cuerpo en pocos días.

CONCLUSIÓN

Existe un riesgo aceptable para plomo y manganeso, mientras que parase observó riesgo inaceptable. Dentro de la dinámica ambiental es complejo abordar un riesgo de manera aislada, el riesgo en conjunto para los tres metales estudiados se calcula con base en el Índice de Peligrosidad, el cual es aceptable para este estudio. Una de las limitaciones en este tipo de estudios es que no existen escalas intermedias para la interpretación del riesgo, el cual se limita a riesgo inaceptable (valor calculado menor a 1) y riesgo aceptable (valor calculado mayor a 1), no obstante, es válido suponer que entre mayor sea el valor calculado, mayor riesgo existirá.

Es importante tomar acciones encaminadas a la prevención de intoxicación por estos metales en la población del DR028. Principalmente evitando o reduciendo la exposición a los mismos. Una alternativa puede ser el uso de biorremediación, empleando organismos capacidades metabólicas únicas, generando resultados prometedores en procesos de biotransformación. Algunos microorganismos y plantas tienen diferentes mecanismos bioquímicos útiles para contrarrestar la toxicidad de los metales pesados en suelos.

REFERENCIAS

- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). (2008). Evaluación toxicológica. Consultado en abril 2022, de Government of United States Sitio web: https://www.atsdr.cdc.gov/es/training/pha_professional2/module3/sv7.html
- BLEAM, W. F. (2016). Soil and environmental chemistry. Academic Press.
- COCKERHAM, L. G., & SHANE, B. S. (2019). Basic environmental toxicology. Routledge.
- EFSA, E. F. (2011). Declaración sobre la ingesta seminal tolerable de cadmio. Consultado en abril 2022, de The EFSA Journal Sitio Web: <https://www.efsa.europa.eu/en/publications/efsajournal.htm>
- EFSA, E. F. (2011). Informe científico de EFSA sobre la exposición de cadmio a través de la dieta en la población Europea. Consultado en abril 2022, de Gobierno de España. Ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad Sitio Web: https://www.aesan.mssi.gob.es/AESAN/web/punto_focal_efsa/detalle/exposicion_c
- HUANTE, K. E. B. (2020). Manganese intoxication: A case report/Intoxicación por Manganeso: Presentación de un caso clínico. Red de Investigación en Salud en el Trabajo, 3(S1), 46-46.
- JIANG YM, ZHENG W, LONG LL. (2007). Brain magnetic resonance imaging and manganese concentrations in red blood cells of smelting workers: search for biomarkers of manganese exposure. Neurotoxicology. 28(1):126-35
- LEY DE AGUAS NACIONALES. (1992). Última Reforma DOF 06-01-2020. Consultado en abril 2022, de Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión Sitio Web: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf

- NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. (NIH). (2019). Manganeso: Hoja Informativa. Consultado en abril 2022, de Government of United States Sitio web: <https://ods.od.nih.gov/factsheets/Manganese-DatosEnEspanol/>
- NORMA OFICIAL MEXICANA (NOM) NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.
- OLIVA, O. J. R., GARCÍA, F. P., & MÉNDEZ, J. P. (2022). Modelo de Virginia Henderson específico para pacientes adultos intoxicados con plomo. *IBN SINA*, 13(1), 14-14.
- OLÓRTEGUI, D., YNOCENTE, C., GARCÍA, M., & MARÍN, G. (2020). Evaluación del riesgo toxicológico por exposición a plomo y cadmio en suelos de los alrededores del Parque Industrial Infantas, Los Olivos. *Ciencia e Investigación*, 23(2), 9-13.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD & PROGRAMA INTERNACIONAL SOBRE SEGURIDAD DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS. (2017). Herramienta de evaluación de riesgos para la salud humana de la OMS: peligros químicos. Organización Mundial de la Salud.
- PÉREZ P, AZCONA M. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*; 17(3):199-205.
- QU, C. S., MA, Z. W., YANG, J., LIU, Y., BI, J., & HUANG, L. (2012). Human exposure pathways of heavy metals in a lead-zinc mining area, Jiangsu Province, China. *PloS one*, 7(11), e46793.
- RODRÍGUEZ HEREDIA, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, 21(12), 3372-3385.
- SÁNCHEZ-OLIVARES, M. A., GAYTÁN-OYARZUN, J. C., PRIETO-GARCÍA, F., & CABRERA-CRUZ, R. B. E. (2021). Evaluación Rápida de Potencial de Riesgo Genotóxico (ERPRG) asociada a metales pesados en agua potable: Caso de estudio Zimapán, Hidalgo, México. *Pädi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 114-120. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7140>
- SMART3 Soil Colorimeter. (Firmware Version 2.10). Manual del Operador. Abril 2022, de La Motte Sitio web: <https://lamotte.com/amfile/file/download/file/573/product/156/>
- SUÁREZ, M. O. (2012). Interaprendizaje de estadística básica. Ibarra: Coordinación de publicación: Universidad Técnica del Norte.
- TORRES SUÁREZ, S. L., TIJERINA CHÁVEZ, L., IBÁÑEZ CASTILLO, L. A., & BAUTISTA HERNÁNDEZ, M. (2020). Optimización de recursos en la producción de forrajes distrito de riego 028 Tulancingo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(SPE24), 153-163.
- ULLMAN, JODIE. (2013). Structural equation modeling. In Barbara Tabachnick y Linda Fidell (Eds.), *Using Multivariate Statistics* (pp. 681-785). Boston: Pearson