



## **Metales pesados en suelos de las márgenes del Río Seco de Comalcalco, Tabasco**

*Amalia Xiutlhalzin Ruíz Moreno<sup>1\*</sup>, Azucena del Rosario Fraire Vázquez<sup>1</sup> y Baltazar Sánchez Díaz Autor<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>TecNM-Instituto Tecnológico Superior Comalcalco

\*amalia.ruiz@comalcalco.tecnm.mx

### **RESUMEN**

La presencia de metales pesados en el suelo es un tema de creciente preocupación, ya que estos tienden a acumularse en la superficie terrestre, lo que facilita su absorción por las plantas a través de sus raíces. El Río Seco, que atraviesa varios municipios de la región Chontalpa en el estado de Tabasco, ha experimentado una degradación en la calidad de su agua debido a diversas actividades antropogénicas. A pesar de esto, cerca de sus márgenes aún se desarrollan actividades agrícolas. En este estudio, se seleccionaron cinco puntos de muestreo en el municipio de Comalcalco, Tabasco, para analizar los parámetros físicos y la presencia de metales pesados en el suelo. Se determinaron los siguientes parámetros: textura, pH, y capacidad de intercambio catiónico total (CICT), así como las concentraciones de Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Hierro (Fe), siguiendo las normativas nacionales vigentes. El tipo de suelo identificado en el área es franco arcilloso, con un pH en el rango de 7.2 a 8.0, clasificado como alcalino, lo que favorece el crecimiento de las plantas y la absorción de nutrientes. Los valores de CICT oscilaron entre 200 y 500 cmol/kg de suelo seco, lo que indica una fertilidad normal del suelo. Las concentraciones de metales pesados fueron: Hierro  $55.336 \pm 7.68$  mg/kg, Cobre  $1.1484 \pm 1.07$  mg/kg y Plomo  $1.1368 \pm 0.19$  mg/kg. Estos valores están dentro de los rangos normales para suelos agrícolas, lo que sugiere que, a pesar de las condiciones locales, el suelo mantiene una calidad aceptable para el uso agrícola y el desarrollo de vegetación.

Palabras claves: Contaminante, Compuestos Inorgánicos, Espectrofotometría, Toxicidad.

## ABSTRACT

Presence of heavy metals in soil is an increasingly important issue, as these metals tend to accumulate on earth's surface, facilitating their absorption by plants through their root systems. Río Seco is a water body that runs through several municipalities in the Chontalpa region of Tabasco, Mexico. Over time and due to anthropogenic activities, it has undergone significant changes in water quality. However, agricultural activities continue near its banks. For this study, five sampling sites were selected within the municipality of Comalcalco, Tabasco, Mexico. At each site, physical parameters such as texture, pH, and Cation Exchange Capacity (CEC) were determined, along with the analysis of heavy metals including Copper (Cu), Lead (Pb), and Iron (Fe) following current national standards. The soil type identified in the study area was clay loam. pH ranged from 7.2 to 8.0, classifying soil as alkaline, which is conducive to healthy plant growth and nutrient absorption. CEC values ranged from 200 to 500 cmol/kg of dry soil, indicating soil fertility is within normal conditions. Heavy metals were found in the following concentrations: Iron  $55.336 \pm 7.68$  mg/kg, Copper  $1.1484 \pm 1.07$  mg/kg, and Lead  $1.1368 \pm 0.19$  mg/kg. Results suggest that despite the prevailing conditions on site, soil maintains acceptable quality for agricultural use, in terms of nutrient availability.

Key words: Contaminant, Inorganic compounds, Spectrophotometry, Toxicity.

## INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso susceptible al daño por metales pesados (MP) como el arsénico, cadmio, cobre, níquel, plomo, mercurio y zinc. Estos metales se consideran altamente tóxicos ya que disminuyen la solubilidad y biodisponibilidad de nutrientes aprovechables para las plantas (Fernández *et al.*, 2022). De acuerdo con un estudio realizado por Cejudo *et al.*, (2015) los metales pesados presentes en el suelo de la ciudad de México en el tiempo de estudio fueron, cromo, cobre, níquel, plomo, vanadio y zinc, considerados potencialmente tóxicos.

La presencia de metales en el suelo tiene diferentes orígenes como metalurgia, desechos industriales, desechos urbanos, desechos farmacéuticos, minería, pesticidas, deposición

atmosférica y fertilizantes por mencionar algunas (Hernández et al., 2022). De manera frecuente podemos identificarlos como agentes tóxicos para los humanos, inclusive estando presente en concentraciones muy bajas pueden causar daño irreversible a un organismo (Gupta *et al.*, 2021). Los metales como Boro, Cobre, Fierro y Zinc en determinadas concentraciones son esenciales para el desarrollo de las plantas. Algunos metales como plomo, arsénico y cadmio al no ser fundamentales, cuando exceden la concentración tolerable, pueden causar alteraciones que comprometen la supervivencia de la especie (Tibbett *et al.*, 2021).

Se estima que 17.8 % de los suelos en México se hallan afectados por agentes químicos, incluyendo metales pesados. Esto es de interés mundial ya que una de las principales funciones del suelo es proporcionar el 95% de los alimentos, proporcionando nutrientes esenciales, oxígeno, soporte y captación de agua para que los cultivos se desarrollen de manera adecuada para favorecer la agricultura mundial (Loyde *et al.*, 2022). Se ha señalado que el agua residual cruda es una de las rutas principales por las que los metales son depositados en las márgenes del río, al interactuar con los diferentes estratos del suelo, se originan alteraciones negativas en sus propiedades fisicoquímicas (García *et al.*, 2020). Cuando estos llegan a acumularse, pueden ser incorporados a la cadena trófica, lo que permite que estos contaminantes lleguen a cuerpos de agua o a los cultivos, ocasionando daños a la salud (Rueda *et al.*, 2011).

En el estado de Tabasco, la contaminación del suelo afecta a más de seis millones de personas, que viven sin pensar en las futuras consecuencias de esta problemática (INEGI, 2010). En el municipio de Cárdenas, en las cañeras del Ingenio presidente Benito Juárez (IPBJ) se han estudiado los niveles de actuales de metales pesados (Pb, Ni, V, Cd, Fe, Zn, Cu y Mn) en su forma total y extractable (Cruz *et al.*, 2012).

En Comalcalco la situación no es diferente; el crecimiento de la población, los asentamientos irregulares y las actividades económicas desarrolladas a lo largo de las márgenes del río han ocasionado la proliferación de contaminantes inorgánicos.

Esto ha originado que, en temporada de lluvias, las aguas sin tratamiento se depositen en el afluente del río, llevando consigo diversas sustancias peligrosas que pueden

representar un riesgo para el ecosistema. La presente investigación es primera en su clase ya que, en las márgenes del Río Seco de Comalcalco, Tabasco prevalecen actividades agrícolas; por ello, se tiene como objetivos determinar los parámetros físicos y químicos como textura, pH, capacidad de intercambio catiónico total y la determinación de metales pesados como plomo, cobre y hierro.

## **METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo esta investigación, se establecieron cinco puntos de muestreo en las siguientes calles Guillermo Prieto, Mariano Arista, Nicolás Bravo, Constitución y Las delicias que se encuentran en las márgenes del Río Seco, ubicados en la zona centro del municipio de Comalcalco, Tabasco (Figura 1) las muestras fueron recolectadas en un periodo de 5 meses. Se recolectaron muestras compuestas y fueron envasadas y etiquetadas para su traslado al laboratorio institucional de acuerdo con lo establecido en la NMX-132-AA-2006. Cada una de las muestras fueron caracterizadas mediante la escala de granulometría Udden-Wentworth, que permite clasificar el diámetro de los sedimentos en arenas, limos y arcillas. Una vez identificado el porcentaje específico de cada una de las fracciones, se comparó con los datos establecidos en el triángulo de textura del sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Para determinar la humedad de las muestras, se empleó el método AS-05 evaluando el contenido de humedad gravimétrica expresado en porcentaje.

El pH se identificó por el método AS-02 realizando la medición en una suspensión sobrenadante de una mezcla de relación de 1:2, ambos métodos establecidos en la NOM-021-SEMARNAT-2000 que indica la cantidad de agua expresada en gramos (g) en una muestra de suelo. Para la determinación de la capacidad de intercambio catiónico total se empleó el método AS-12 que cuantifica la suma de cationes intercambiables absorbidos, expresada en centimoles por cada 100 g de suelo seco ( $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ).

Para la determinación de metales pesados (cobre, plomo y hierro) se empleó el método B.3 de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por metales a través de espectrofotometría de absorción atómica por flama (aspiración directa), para ello las

muestras debidamente identificadas se sometieron a una digestión ácida empleando una solución de ácido nítrico y ácido clorhídrico para la eliminación de materia orgánica presente y posteriormente se analizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer Precisely Analyst 700.



Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo en el municipio de Comalcalco, Tabasco.

## RESULTADOS

Tras analizar los resultados, se determinó que el tipo de suelo presente en los sitios de estudio corresponde a un suelo franco-arcilloso. Este tipo de suelo favorece la presencia de mayor cantidad de iones intercambiables.

El pH observado en las muestras de suelo varió entre 7.2 y 8.0, clasificándose como alcalino. Además, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se registró en un rango de 200 a 500 cmol/kg de suelo seco.

En cuanto a la determinación de cobre (Cu), el punto de muestreo 4 (ubicado en la calle Constitución) presentó la mayor concentración de este elemento, con un valor de 1.525 mg/kg. Siguió el punto de muestreo 2 (calle Mariano Arista), con una concentración de 0.440 mg/kg. A continuación, se registraron las concentraciones de los puntos de

muestreo 1 (calle Guillermo Prieto) con 0.374 mg/kg, y 3 (calle Nicolás Bravo) con 0.290 mg/kg. La menor concentración se observó en el punto de muestreo 5 (calle Las Delicias), con un valor de 0.244 mg/kg, como se muestra en la figura 2.

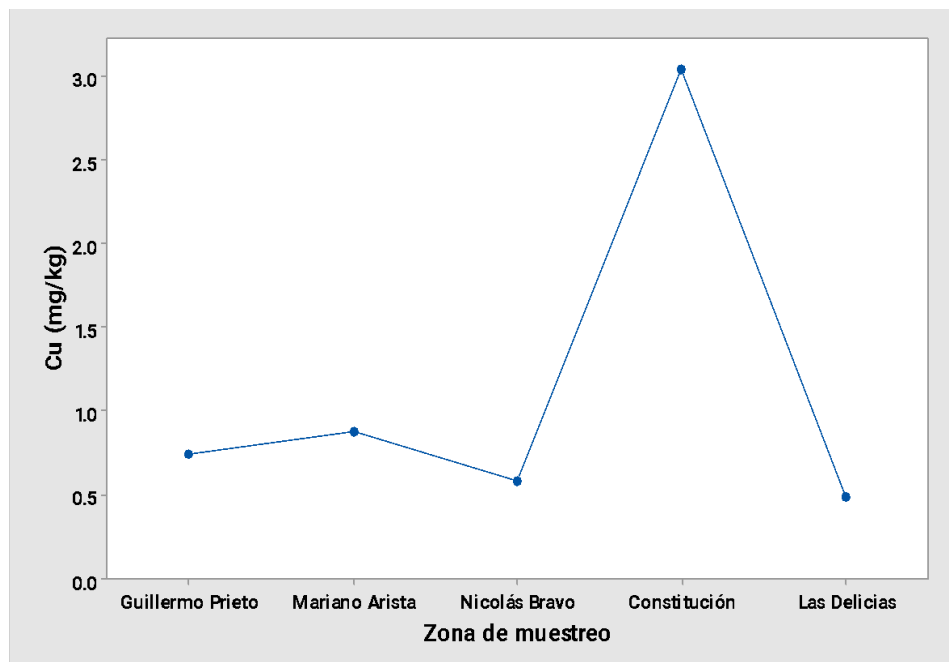


Figura 2. Concentración de Cobre (Cu) en mg/kg en los puntos de muestreo.

En cuanto a la determinación de plomo (Pb), el punto de muestreo con la mayor concentración fue el ubicado en la calle Las Delicias (punto 5), con un valor de 0.701 mg/kg. después el punto de muestreo 2 (calle Mariano Arista), que presentó una concentración de 0.626 mg/kg. Posteriormente, el punto de muestreo 3 (calle Nicolás Bravo) registró 0.551 mg/kg, y el punto 4 (calle Constitución) tuvo un valor de 0.527 mg/kg. La menor concentración se observó en el punto 1 (calle Guillermo Prieto), con 0.438 mg/kg, como se muestra en la figura 2.

Es importante destacar que, a partir del punto con la segunda concentración más alta (calle Mariano Arista), se observa una tendencia a la disminución de los niveles de plomo hasta el punto 4 (calle Constitución). No obstante, en el punto 5 (calle Las Delicias), se podría inferir la presencia de una fuente puntual que esté contribuyendo al aumento de la concentración de plomo en esa área.

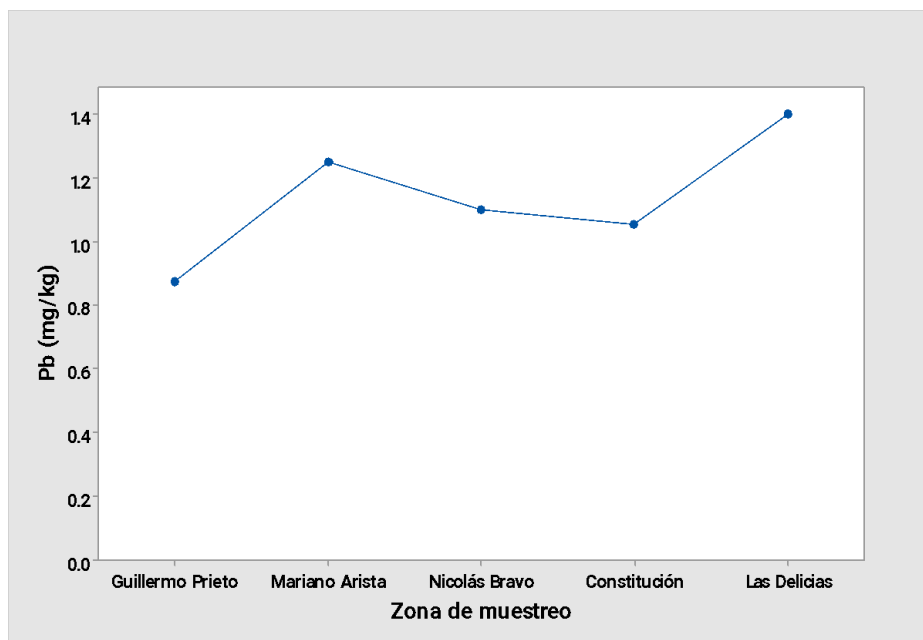


Figura 3. Concentración de plomo (Pb) en mg/kg de las zonas de muestreo.

En cuanto a la determinación de hierro (Fe), se observó un aumento en las concentraciones en comparación con los metales Cu y Pb. El punto de muestreo 2 (calle Mariano Arista) presentó la concentración más alta, con 31.70 mg/kg, seguido por el punto 3 (calle Nicolás Bravo) con 30.64 mg/kg. A continuación, el punto de muestreo 4 (calle Constitución) registró 28.95 mg/kg, y el punto 1 (calle Guillermo Prieto) mostró un valor de 24.48 mg/kg. Finalmente, el punto con la menor concentración fue el de la calle Las Delicias, con 22.88 mg/kg, como se ilustra en la figura 4.

Es interesante notar que la concentración de hierro en el punto de muestreo de la calle Mariano Arista muestra un incremento, seguido de una disminución progresiva hasta el punto de muestreo en la calle Las Delicias.

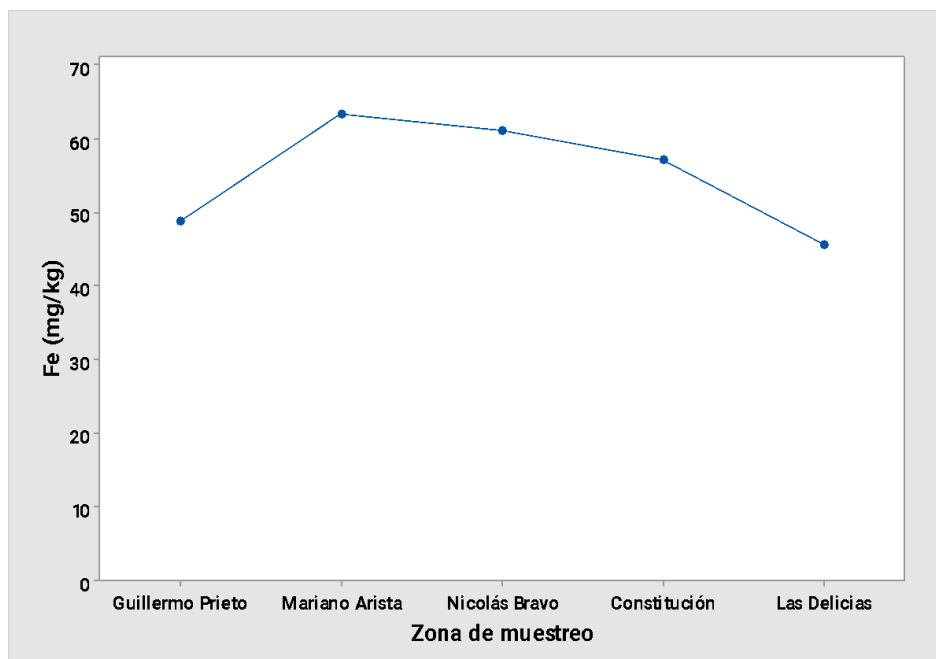


Figura 4. Concentración de Hierro (Fe) en mg/kg de las zonas de muestreo.

Durante los muestreos realizados para la caracterización del suelo en las márgenes del río Seco, se identificaron asentamientos humanos en las zonas de interés. Los resultados de esta observación se presentan en la **tabla 1**, donde se destaca que las casas-habitación son la principal actividad antrópica en la región, lo que podría tener un impacto directo o indirecto sobre la calidad del suelo.

Tabla 1. Actividades antropogénicas en la zona de muestreo

| Actividades antropogénicas en las márgenes del río Seco  |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|
| Punto 1. Calle Guillermo Prieto  | Punto 2. Calle Mariano Arista   | Punto 3. Calle Nicolás Bravo  | Punto 4. Calle Constitución   | Punto 5. Calle Las delicias   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taller de soldadura</li> <li>▪ Taller mecánico</li> <li>▪ Vulcanizadora</li> <li>▪ Lavadora de autos</li> <li>▪ Supermercado</li> <li>▪ Casas-Habitación</li> <li>▪ Actividades ganaderas</li> <li>▪ Escuelas</li> <li>▪ Centro de salud</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Taller de reparaciones electrodomésticas</li> <li>▪ Supermercado</li> <li>▪ Tienda de conveniencia</li> <li>▪ Cadena comercial de venta de muebles</li> <li>▪ Clínica particular</li> <li>▪ Panadería</li> <li>▪ Lavandería</li> <li>▪ Peluquería</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mercado público municipal</li> <li>▪ Taller mecánico</li> <li>▪ Veterinarias</li> <li>▪ Panadería</li> <li>▪ Frutería</li> <li>▪ Bares</li> <li>▪ Casas-Habitación</li> <li>▪ Hotel</li> <li>▪ Estacionamiento</li> <li>▪ Pollerías</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Casas-Habitación</li> <li>▪ Taller mecánico</li> <li>▪ Puestos de comida</li> <li>▪ Tiendas de conveniencia</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Casas-Habitación</li> <li>▪ Taller mecánico</li> <li>▪ Gasolinera</li> <li>▪ Banco de arena</li> <li>▪ Oficinas de PEMEX</li> <li>▪ Tiendas de conveniencia</li> </ul> |

## DISCUSIÓN

El pH en el sitio de estudio es alcalino, lo que favorece el crecimiento adecuado de las plantas y la absorción de nutrientes. Según Rueda *et al.* (2011), las variaciones en el pH del suelo pueden causar la liberación y migración de metales pesados hacia las aguas subterráneas, o bien hacer que estos se vuelvan disponibles en el suelo, lo que aumenta el riesgo de bioacumulación en los cultivos. Por otro lado, Loyde *et al.* (2022) indican que altas concentraciones de metales pesados tienden a acidificar el suelo ( $\text{pH} < 7$ ), lo que interrumpe los procesos agrícolas y afecta negativamente el crecimiento de las plantas, pudiendo incluso provocar su mortalidad. En este contexto, el pH juega un papel crucial en la toxicidad de los metales pesados, como menciona Hernández *et al.* (2022), ya que su variabilidad está directamente relacionada con la disponibilidad y la toxicidad de estos elementos en el suelo.

Para la determinación de la CICT, se obtuvieron valores entre 200 y 500  $\text{cmol/kg}$  de suelo seco, los cuales son considerados muy altos según la NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece que valores superiores a 40  $\text{cmol/kg}$  se clasifican como "muy altos". Esto sugiere que los niveles de fertilidad del suelo en las márgenes del Río Seco se encuentran en condiciones óptimas, lo que favorece el transporte adecuado de nutrientes esenciales como calcio, magnesio, potasio, hidrógeno y sodio. En contraste, Pérez *et al.* (2018), al evaluar suelos destinados a cultivos, encontraron valores de CICT entre 27.75 y 40.55  $\text{cmol/kg}$ , lo que indica niveles más bajos de fertilidad en esos suelos. Según Hernández *et al.* (2022) y Rueda *et al.* (2011), el intercambio catiónico es un proceso clave en la adsorción de nutrientes, ya que está directamente relacionado con la capacidad del suelo para retener y liberar cationes esenciales para el crecimiento de las plantas.

La determinación de metales pesados en el suelo de las márgenes del río Seco, en el municipio de Comalcalco, Tabasco, reveló la presencia de Cobre, Plomo y Hierro. Las concentraciones obtenidas fueron: Hierro  $55.336 \pm 7.68 \text{ mg/kg}$ , Cobre  $1.1484 \pm 1.07 \text{ mg/kg}$ , y Plomo  $1.1368 \pm 0.19 \text{ mg/kg}$  (ver tablas 1, 2 y 3). Todos estos valores se encuentran dentro del rango natural para suelos agrícolas, según los valores de referencia establecidos por Hernández *et al.* (2022): Cobre (5-120  $\text{mg/kg}$ ), Plomo (3-189

mg/kg), Cromo (5-120 mg/kg) y Fierro (0 mg/kg), valores inferiores a las concentraciones de metales pesados en suelos agrícolas no contaminados.

En particular, la concentración de Fierro ( $55.336 \pm 7.68$  mg/kg) es superior a los valores típicos encontrados en suelos no contaminados. No obstante, se mantiene por debajo de las concentraciones permitidas para la agricultura, que son de hasta 500 mg/kg. Por otro lado, Loyde *et al.* (2022) establece los siguientes rangos naturales para metales pesados en suelos agrícolas no contaminados: Cromo (3-3000 mg/kg), Cobre (2-100 mg/kg) y Plomo (2-200 mg/kg).

## CONCLUSIONES

El análisis de los resultados permitió identificar las condiciones actuales de la calidad del suelo en las márgenes del Río Seco. Los parámetros físicos y químicos se encuentran dentro de los límites establecidos por la normatividad mexicana, lo que indica que el suelo mantiene una calidad adecuada para su uso agrícola. Las concentraciones de metales como Cobre ( $1.1484 \pm 1.07$  mg/kg), Plomo ( $1.1368 \pm 0.19$  mg/kg) y Fierro ( $55.336 \pm 7.68$  mg/kg) se hallan dentro de los rangos típicos para suelos agrícolas, lo que sugiere un bajo riesgo para la salud de la población. Estos niveles no comprometen la seguridad de los alimentos cultivados ni la integridad del ecosistema circundante.

A pesar de las condiciones actuales del lugar, como la descarga de aguas residuales, el suelo sigue presentando una calidad aceptable en cuanto al aporte de nutrientes, lo que favorece el crecimiento de vegetación y cultivos autóctonos. No obstante, es importante realizar un monitoreo constante de las actividades industriales y comerciales en la zona de estudio. Aunque, en este momento, los niveles de metales pesados no representan un riesgo significativo, es posible que con el tiempo estos elementos lleguen a bioacumularse, lo que podría tener repercusiones negativas para la salud y el medio ambiente en el futuro.

Cabe destacar que este estudio es el primero de su tipo en la región y no cuenta con antecedentes históricos, lo que resalta la necesidad de continuar con investigaciones y

monitoreos periódicos para evaluar la evolución de la calidad del suelo en las márgenes del río Seco.

## LITERATURA CITADA

- Cejudo-Ruíz, R. F. Bautista, P. Quintana, M. C. Delgado-Carranza,, D. Aguilar, A. Goguitchaichvili y J. J. Morales-Contreras. 2015. Correlación entre elementos potencialmente tóxicos y propiedades magnéticas en suelos de la Ciudad de México para la identificación de sitios contaminados: definición de umbrales magnéticos. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 32(1), 50-61.
- Cruz-Guzmán, A. M. 2007. La contaminación de suelos y aguas. Su prevención con nuevas sustancias naturales. Universidad de Sevilla. Sevilla. España.
- Cruz-Pons, A de la, Zavala-Cruz, J, Guerrero-Peña, A., Salgado-García, S, Lagunes-Espinoza, LC, y Gavi-Reyes, F. 2012. Metales pesados en suelos cultivados con caña de azúcar en la Chontalpa Tabasco. *Universidad y ciencia*, 28(2), 119-130.
- García-Carrillo, M., Luna-Ortega, J.G., Gallegos-Robles, M.A.I, Preciado-Rangel, P., Cervantes-Vázquez, M.G., y González-Salas, U. 2020. Impacto de aguas residuales sobre algunas propiedades y acumulación de metales pesados en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 907-916. Epub 12 de febrero de 2021.<https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.556>
- Fernández Ochoa, B. H., Mullisaca Contreras, E., y Huanchi Mamani, L. E. 2022. Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(2), 131-138. Epub 16 de mayo de 2022.<https://dx.doi.org/10.18271/ria.2022.416>.
- Hernández-Caricio, C., Ramírez, V. Martínez, J., Quintero-Hernández, V. Báez, A., M., José-Antonio N., y Rosas-Murrieta (2022). Los metales pesados en la historia de la humanidad, los efectos de la contaminación por metales pesados y los procesos biotecnológicos para su eliminación: el caso de *Bacillus* como bioherramienta para la recuperación de suelos. *Revista Alianzas y Tendencias BUAP (AyTBUAP)*. Epub 25 de noviembre 2022.<http://doi.org/10.5281/zenodo.7091407>.
- INEGI. (2010). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México.

- Loyde De La Cruz, L.A., González Méndez, B., Cruz Avalos, A.M., y Loredo Portales, R. 2022. Suelos agrícolas y metales pesados, una relación tóxica que se puede remediar. *Epistemus (Sonora)*, 16(33), 93-98. Epub 19 de mayo de 2023. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v16i33.228>.
- Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 “*Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales*”.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. “*Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis*”. *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*”
- Norma Mexicana NMX-132-AA-2006. “*Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides y manejo de la muestra*”
- Norma Oficial Mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2003. “*Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación*”.
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. “*Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio*”.
- Pérez Olvera, M.A., García Mateos, R., Vázquez Alarcón, A., Colinas León, T, Pérez Grajales, M, y Navarro Garza, H. 2008. Concentración de Pb, Cd, Ni y Zn en suelos contaminados y su transferencia a la pella de brócoli. *Terra Latinoamericana*, 26(3), 215-225.
- Rueda Saa, G., Rodríguez Victoria, J. A. y Madriñán Molina, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*, 60(3),203-218. ISSN: 0120-2812. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169922438001>
- Tibbett, M.; Green, I.R.; De Oliveira, V.; Whitaker, J. 2021. The transfer of trace metals in the soil-plant-arthropod system. *Science of The Total Environment*, 779, 146260. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146260