

Metales pesados en los campos agrícolas de México: una amenaza invisible, estudiada desde las ciencias paisajísticas

Luis Eduardo Herrera Figueroa
Francisco Rodríguez González
Silvia Viridiana Vargas Solano
Pedro Joaquín Gutiérrez Yurrita

Resumen

Los metales pesados están presentes de manera natural en el ambiente, pero se han convertido en una amenaza compleja debido a las actividades humanas como la minería, la industria, y prácticas agrícolas intensivas. Su mal manejo provoca acumulación en suelos agrícolas, donde elementos como plomo, arsénico y cadmio pueden ser absorbidos por plantas o animales, llegando así a los alimentos y afectando la salud humana y ambiental. Frente a esta problemática, las ciencias paisajísticas ofrecen una visión holística que integra áreas del conocimiento como la geología, la economía, la agricultura, la política, la hidrología y la cultura local se entrelazan para influir en la dispersión y acumulación de metales pesados en los paisajes agrícolas. Gracias a esta comprensión sistémica, es posible diseñar estrategias para la mitigación de los efectos de los metales pesados, como lo son: la biorremediación, el uso de prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente, el monitoreo ambiental, políticas públicas efectivas, además, se subraya la importancia de la conciencia ciudadana para enfrentar el problema de manera colectiva. Comprender el paisaje como un sistema interconectado es esencial para garantizar la seguridad alimentaria, la salud y la sostenibilidad de los ecosistemas agrícolas y de las comunidades que lo habitan en México.

Introducción

Cuando hablamos de metales pesados se suele pensar en las pesas de un gimnasio, en grandes vigas de metal o incluso en los poderes de magneto para mover grandes cantidades de este material, sin embargo, en química un metal pesado es un elemento de la tabla periódica que suele tener una densidad molecular mayor a 5 g/cm₃ (Singh & Susan, 2018), y algunos son metales transicionales como el: titanio (Ti), cromo (Cr), mercurio (Hg). Los metales pesados se encuentran presentes de forma natural en el ambiente, en cantidades inofensivas y hasta algunos de ellos son necesarios para el desarrollo de la vida, como es el caso del hierro (Fe) y el zinc (Zn), no obstante, desde la época de la revolución industrial debido a la gran explotación de recursos, y cambios en muchos procesos de minería, transporte, agricultura y demás, los niveles de metales pesados en algunas partes del planeta como en zonas urbanas y agrícolas se volvieron alarmantes, ya que estos pueden bioacumularse, lo que quiere decir que, si se encuentran en un campo de cultivo, pueden ser absorbidos por plantas o animales y luego terminar en nuestros alimentos, lo que implica una amenaza a la seguridad del suelo, los cultivos, los alimentos y la salud, estas son algunas de las muchas razones por las que los metales pesados son tan importantes y las ciencias paisajísticas son perfectas para estudiarlos porque tienen

una visión holística, lo que les permite analizar problemas de la mayor cantidad de perspectivas posibles. Por lo tanto, en este artículo, describe cómo estos elementos afectan el medio ambiente no solo desde la química, sino desde la perspectiva paisajística.

¿Qué son los Metales Pesados y por qué nos importan?

Para empezar, aclaremos qué son estos “metales pesados” de los que tanto se habla. Como ya mencionamos con anterioridad, no son pesados en el sentido de que los puedes levantar y sentir su peso; el término se refiere a su densidad atómica y más importantemente, a su toxicidad en concentraciones elevadas. Son elementos químicos que se encuentran naturalmente en la corteza terrestre y se pueden dividir en dos grupos, primero los metales pesados esenciales que son aquellos necesarios para que los organismos se desarrollen, dentro de este grupo están: calcio (Ca), cobre (Cu), Fe y Zn. Y por otra parte tenemos los no esenciales, estos no tienen alguna función en el desarrollo de los organismos y en este grupo están: cobalto (Co), níquel (Ni), Ti, plomo (Pb), arsénico (As) y cadmio (Cd). En este sentido estos últimos tres elementos son los que presentan mayor toxicidad de acuerdo con el Departamento de Salud y Servicios Humanos de U.S.A o ATSDR por sus siglas en inglés (ATSDR, 2024).

Entonces, ¿por qué deberían importarnos? La respuesta es sencilla: la contaminación ambiental que producen estos elementos y si estos metales logran entrar al cuerpo, se acumularán y no se eliminan de forma inmediata, causando una variedad de problemas de salud, desde afectaciones neurológicas como el Alzheimer, hasta problemas renales, reproductivos y en casos extremos, cáncer (Yuan et al., 2019). Por lo tanto, para un país como México, donde la agricultura es un pilar fundamental de nuestra economía y cultura, entender y abordar este problema es de vital importancia. El territorio mexicano, con su diversidad geológica y su intensa actividad humana, presenta condiciones propicias para la acumulación de estos elementos en los suelos agrícolas.

Fuentes de contaminación por metales pesados en la agricultura mexicana

Los metales pesados llegan a los campos de cultivo principalmente por factores antropogénicos como, la minería a cielo abierto, las plantas termoeléctricas, las descargas de aguas residuales y desechos industriales, así como malas prácticas agrícolas (Rashid et al., 2023); además también existen los factores naturales como: los incendios forestales, erupciones volcánicas y lluvias ácidas (Alengebawy et al., 2021). De esta forma la presencia de metales pesados en los suelos agrícolas de México no tiene una única causa; es un problema en el que es

necesario ahondar y conocer su origen, para saber qué decisiones podemos tomar y cómo reducir el riesgo que representan al planeta y a nuestra salud, por esta razón, profundizaremos en las dos principales fuentes de metales pesados que son:

Fuentes naturales: La herencia geológica

Seguramente has escuchado la frase “la masa no se crea ni se destruye, solo se transforma” atribuida a Antoine Lavoisier (Sterner et al., 2011), pues algo así sucede con los metales que han estado presentes en la tierra a lo largo de toda la historia, acumulándose en las múltiples capas geológicas, hasta que procesos naturales como la erosión ocasionada por los ventarrones, tormentas, tornados, huracanes y erupciones volcánicas exponen estos elementos a la superficie. Otra forma en que los metales pesados son liberados al ambiente es a través de los incendios forestales, ya que al quemarse los árboles liberan los elementos que acumularon. Teniendo en cuenta lo anterior y que México es un país con una vasta diversidad geológica y biológica, es común encontrar suelos con concentraciones naturalmente elevadas de ciertos metales, como arsénico o plomo, especialmente en regiones volcánicas o con yacimientos minerales.

Desde la perspectiva paisajística, esto significa que antes de siquiera pensar en la actividad humana, ya existe una cantidad natural de metales pesados, al que los cien-

tíficos determinaron como “valor de fondo” que es la medida en que estos se encuentran en el ambiente, sin que el humano tuviera intervención y sirve de referencia crucial para determinar si las concentraciones actuales son peligrosas o simplemente el resultado de procesos naturales.

Actividades antrópicas (Humanas): La marca de nuestra huella

Aquí es donde la cosa se complica, ya que nuestras actividades cotidianas y económicas pueden liberar metales pesados en el ambiente a tasas mucho más rápidas de lo que la naturaleza puede procesar, algunos ejemplos de estas actividades son:

- **La minería:** México tiene una rica historia minera, desde tiempos prehispánicos hasta la actualidad. La extracción por medio de minas ya sea de oro, plata, cobre, plomo, zinc, cal, carbón o algún otro elemento, libera al ambiente grandes cantidades de metales pesados como Pb, As, Cr, Ni, entre otros (Hossen et al., 2021). En este sentido los residuos mineros, conocidos como jales o presas de jales, pueden contener altas concentraciones de metales tóxicos.
- **La Industria:** Las actividades industriales, como la metalurgia, la producción de baterías, la fabricación de cemento y la petroquímica, a menudo liberan metales pesados en

sus emisiones atmosféricas, aguas residuales y residuos sólidos. Si estas industrias están ubicadas cerca de zonas agrícolas, los contaminantes pueden depositarse en el suelo a través de la lluvia ácida o el riego con aguas residuales no tratadas.

- **Aguas Residuales Urbanas e Industriales:** Muchas ciudades en México carecen de plantas de tratamiento de aguas residuales adecuadas, o las que existen no eliminan eficazmente los metales pesados. Cuando estas aguas, cargadas con residuos de hogares e industrias, se utilizan para riego agrícola (una práctica común en algunas regiones por la escasez de agua), los metales pesados presentes en ellas son introducidos directamente en el suelo.
- **Prácticas Agrarias Inadecuadas:** Aunque parezca irónico, la propia agricultura puede ser una fuente de metales pesados, debido a la gran demanda de alimentos causada por la sobre población, el tipo de manejo que se les da a los cultivos es principalmente de manera convencional, lo que quiere decir que utiliza producción intensiva mediante monocultivos, que a su vez son fertilizados y fumigados con productos de origen sintético (Figura 1), lo que por consecuencia acumula estos metales, especialmente en suelos ácidos (do Nascimento Júnior et al., 2021). Algunos ejemplos adicionales de estas malas prácticas son:

1. **Fertilizantes y plaguicidas:** Algunos fertilizantes fosfatados pueden contener Cd, y ciertos plaguicidas (especialmente los de uso más antiguo, como los que contenían arsénico o mercurio) pueden dejar residuos de metales pesados en el suelo. Aunque su uso ha disminuido, su presencia aún puede persistir.
2. **Biosólidos y estiércoles:** Mucha gente tiene la creencia de que todo el excremento de ganado puede ser usado como compost o abono, pero no es así, el uso de biosólidos (lodos de depuradora) o estiércoles de animales que han sido alimentados con concentrados contaminados, pueden introducir metales pesados en el suelo.
3. **Irrigación con agua contaminada:** El uso de agua contaminada (de ríos, pozos cercanos a minas o industrias) para riego es una vía directa de contaminación.



Figura 1. Residuos de insumos sintéticos contaminando el paisaje de sorgo morelense. (Fotografía tomada por Herrera-Figueroa).

- **Residuos Sólidos Urbanos (Basura):** Desafortunadamente en México no existe una buena cultura del adecuado manejo de la basura, un ejemplo de esto son los vertederos a cielo abierto, que mal gestionados que pueden lixivar metales pesados al suelo y al agua subterránea. Si estos vertederos están cerca de campos de cultivo, el riesgo es evidente.

A pesar de que el origen es tan variado, el impacto de los metales pesados en los campos agrícolas es profundo. Desde la disminución de la productividad de los cultivos (ya que las plantas también se ven afectadas por la toxicidad, mostrando retraso en el crecimiento, clorosis o necrosis) hasta la amenaza directa a la salud humana a través de la cadena alimentaria. Las poblaciones rurales, especialmente los niños, son a menudo los más vulnerables debido a la exposición crónica y al consumo de alimentos cultivados localmente (Järup, 2003).

El paisaje un gran detective: Monitoreo, diagnóstico y estrategias de manejo

A estas alturas probablemente la pregunta en la mesa sea: ¿cómo entra en juego la ciencia del paisaje? Imaginen el paisaje no sólo como un bonito cuadro, sino una compleja obra de arte 3D similar a una telaraña, en la que todos los puntos convergen, incluso el pasado y el futuro. Debido a esto la ciencia

paisajística es la disciplina perfecta para estudiar y resolver este tipo de problemáticas, ya que su visión nos ayuda a entender cómo los diferentes elementos del paisaje desde los volcanes, ríos, ciudades, fábricas, hasta elementos inmateriales como las tradiciones y la cultura, están conectados y funcionan como un sistema complejo.

Por lo tanto, un científico del paisaje, en lugar de mirar solo un campo de cultivo como un sistema inerte, levantaría la vista para observar: la topografía, geología, cuerpos de agua, industrias, leyes, manejo agrario, economía, historia y cultura de las sociedades involucradas alrededor de ese paisaje vivo. De esta manera al unir todas estas piezas, el científico paisajístico puede actuar como un gran detective, identificando las fuentes de contaminación, las rutas de dispersión y los lugares donde los metales pesados se acumulan, creando un “mapa” del problema. Por consiguiente, esta visión holística permite no solo comprender la situación actual, sino también predecir riesgos futuros y diseñar estrategias de mitigación más efectivas que aborden la raíz del problema y no solo sus síntomas.

Afortunadamente, la ciencia del paisaje no sólo diagnostica problemas, sino que también propone soluciones. La comprensión holística del problema es la clave para una gestión efectiva. Aquí algunas estrategias que se pueden implementar: Monitoreo constante del ambiente (Figura 2), biorremediación de sitios contaminados mediante el uso de plantas que absorben los metales pesados o cambiando las propiedades del suelo, para que algunos metales pesados

que se “fijan” tengan mayor movimiento y no se acumulen, también mediante las buenas prácticas agrícolas y el uso de insumos amigables con el medio ambiente, la buena gestión del agua de riego, la regulación de algunas políticas públicas y sobre todo una de las más importantes, la concientización ciudadana y la información accesible de lo que sucede en el paisaje que los rodea.



Figura 2. Análisis de muestras de suelo mediante digestión ácida, utilizando espectrometría óptica acoplada inductivamente. (Fotografía tomada por Herrera-Figueroa).

Así pues, la ciencia del paisaje nos ofrece una visión integral de los problemas ambientales, permitiéndonos ver cómo todo está conectado. Los metales pesados en los campos de cultivo de México no son solo un problema local; son un reflejo de cómo interactuamos con nuestro entorno a una escala mayor. De este modo recuerden, cada vez que vean un campo de cultivo (Figura 3), piensen en todas las fuerzas invisibles que actúan sobre él, desde las entrañas de la tierra, hasta las manos de los agricultores y finalmente, a sus mesas, la historia de nuestros alimentos es una historia de interacciones complejas.

Entender estos complejos sistemas es el primer paso para construir un futuro más seguro y sostenible. Ustedes, como la próxima generación de científicos, ingenieros, agricultores y ciudadanos, tienen un papel fundamental en este desafío. Al aplicar un pensamiento crítico, una perspectiva holística y el conocimiento de la ciencia del paisaje, podemos trabajar juntos para proteger nuestros suelos, nuestros alimentos y por ende nuestra salud, asegurarnos un futuro de prosperidad, abundancia y sostenibilidad para todos los mexicanos. ¡El paisaje nos espera, y hay mucho por descubrir y proteger!



Figura 3. Paisaje agrario en Tepoztlán, Morelos. (Fotografía tomada por Herrera-Figueroa).

Referencias

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2024, 12 de noviembre). Substance Priority List. U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/programs/substance-priority-list.html>
- Alengebawy, A., Abdelkhalek, S. T., Qureshi, S. R., & Wang, M.-Q. (2021). Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. *Toxics*, 9(3), 42. <https://doi.org/10.3390/toxics9030042>
- do Nascimento Júnior, A. L., de Q. Paiva, A., da S. Souza, L., Souza-Filho, L. F., Souza, L. D., Fernandes Filho, E. I., Schaefer, C. E. R. G., da Silva, E. F., Fernandes, A. C. O., & da S. Xavier, F. A. (2021). Heavy metals distribution in different parts of cultivated and native plants and their relationship with soil content. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(1), 225–240. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02859-x>
- Hossen, Md. A., Chowdhury, A. I. H., Mullick, Md. R. A., & Hoque, A. (2021). Heavy metal pollution status and health risk assessment vicinity to Barapukuria coal mine area of Bangladesh. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 16, 100469. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2021.100469>
- Järup, L. (2003). Hazards of heavy metal contamination. *British Medical Bulletin*, 68, 167–182. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032>
- Rashid, A., Schutte, B. J., Ulery, A., Deyholos, M. K., Sanogo, S., Lehnhoff, E. A., & Beck, L. (2023). Heavy Metal Contamination in Agricultural Soil: Environmental Pollutants Affecting Crop Health. *Agronomy*, 13(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061521>
- Singh, N. B., & Susan, A. B. H. (2018). 21—Polymer nanocomposites for water treatments. En M. Jawaaid & M. M. Khan (Eds.), *Polymer-based Nanocomposites for Energy and Environmental Applications* (pp. 569–595). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102262-7.00021-0>
- Sternier, R. W., Small, G. E., & Hood, J. M. (2011). The conservation of mass. *Nature Education Knowledge*, 3(10), 20. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/the-conservation-of-mass-17395478/>
- Yuan, X., Xiong, T., Yao, S., Liu, C., Yin, Y., Li, H., & Li, N. (2019). A real filed phytoremediation of multi-metals contaminated soils by selected hybrid sweet sorghum with high biomass and high accumulation ability. *Chemosphere*, 237, 124536. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124536>

Sobre los autores/as

M. en. C. Luis Eduardo Herrera Figueroa. Especialista en entomología, agroecología y pasaje. Estudiante del Doctorado en ciencias en Conservación del Patrimonio paisajístico del Instituto Politécnico Nacional. Email: lherreraf1700@alumno.ipn.mx.

Dr. Francisco Rodríguez González. Profesor-Investigador del departamento de biotecnología del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico nacional, cuya línea de investigación es sobre el estudio y aprovechamiento de biomoléculas para la biotecnología ambiental. Email: frrodriguezg@ipn.mx

Dra. Silvia Viridiana Vargas Solano. Es profesora-investigadora del departamento de biotecnología del Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico nacional, cuya línea de investigación es el estudio y aprovechamiento de biomoléculas para la biotecnología ambiental. Email: ssvargass@ipn.mx

Dr. Pedro Joaquín Gutiérrez Yurrita. Profesor-Investigador del departamento de biociencias e ingeniería del Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo, del Instituto Politécnico Nacional. Área de especialización en derecho ecológico y derecho ambiental. Email: mmcorrear@ipn.mx