Determinación de la concentración de metales pesados en agua y suelo del transecto Angostillo-Xocotitla en Paso de Ovejas, Veracruz

Mario Torres-Becerril, Gustavo López-Romero *

Colegio de Postgraduados-*Campus* Veracruz. Carretera Federal Xalapa-Veracruz km 88.5, Veracruz, México. CP. 91700.

Artículo recibido el 6 de febrero de 2026 aceptado el 28 de febrero de 2026

Determination of the concentration of heavy metals in water and soil of the Angostillo-Xocotitla transect in Paso de Ovejas, Veracruz.

Abstract

In Mexico, one of the main problems in agriculture is soil contamination and the use of untreated water, both of which increase the soil´s heavy metal content. Some metals are highly toxic to plants, animals, and humans. The objective of this study is to determine the concentrations of heavy metals in water and soil along the Angostillo-Xocotitla transect in Paso de Ovejas, Veracruz. Water and soil samples were collected from the study area and analyzed to determine heavy metal concentrations. According to the results, heavy metals (Pb, Ni, Cu, Zn) are present in the soil; however, their concentrations are within the maximum permissible limits established by the standard, except for iron. The degree of contamination of these metals must be taken into account due to their possible negative effects on health, so it is recommended that this activity be carried out periodically.

Key words: contamination, soil, water, heavy metals.

Resumen

En México, uno de los principales problemas en la agricultura es la contaminación del suelo, así como el uso de aguas no tratadas, que incrementan el contenido de metales pesados en el suelo. Algunos metales son altamente tóxicos para las plantas, los animales y los seres humanos. El objetivo del trabajo es determinar el contenido de metales pesados presentes en el agua y en el suelo del transecto de Angostillo-Xocotitla de Paso de Ovejas, Veracruz. Se tomaron muestras de agua y suelo de la zona de estudio, que se analizaron para determinar el contenido de metales pesados. De acuerdo con los resultados obtenidos, se concluye que hay presencia de metales pesados (Pb, Ni, Cu, Zn) en el suelo; sin embargo, estas concentraciones se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la norma, a excepción del hierro. Se debe tener en cuenta el grado de contaminación de estos metales y sus posibles efectos negativos en la salud, por lo que se recomienda realizar esta actividad periódicamente.

Palabras clave: contaminación, suelo, agua, metales pesados.

*Autor de correspondencia
Email: gustavolr@colpos.mx
ISSN 2594-0384 (Electrónica)

Introducción

En México, uno de los principales problemas en la agricultura es la contaminación del suelo, debido al empleo indiscriminado de agroquímicos, así como el uso de aguas no tratadas, las cuales incrementan el contenido de metales pesados en el suelo, que al no ser degradados química ni biológicamente persisten en el medio acumulándose en el sistema agua-suelo-planta (Clemente *et al.*, 2005).

Los metales pesados son un conjunto de elementos que comparten la característica de tener una densidad elevada. Algunos metales son esenciales para las plantas, animales y seres humanos. Sin embargo, la presencia de otros metales pesados no esenciales, pueden llegar a limitar el crecimiento vegetal y/o ser tóxicos para las plantas, animales y seres humanos. Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes, pero algunos metales no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar al de los elementos nutritivos requeridos (Lasat, 2000).

Desde el punto de vista de los seres vivos, hay metales pesados que son nutrientes esenciales (Fe, Mn, Zn, Cu y Mo), elementos benéficos en ciertas circunstancias (Ni, Cr, V, Ti, entre otros) y elementos que, por ahora, no se considera que tengan funciones en los seres vivos (Cd, Hg, Pb, entre otros) (Oliver, 1997).

Las principales vías de entrada de los metales a las plantas son el aire, el agua y el suelo, y las plantas constituyen un punto de conexión importante entre las partes abiótica y biótica del ecosistema en la transferencia de metales (Nriagu, 1990). Los principales peligros ambientales de la transferencia de metales pesados desde el suelo a las plantas son la entrada de los metales en la cadena trófica, la pérdida de cobertura vegetal o cosecha por su fitotoxicidad y la absorción de metales desde el suelo por plantas tolerantes, que pueden producir efectos tóxicos en la flora y la fauna. Por lo tanto, además del suelo las plantas son un elemento importante en los procesos de contaminación (Kabata- Pendias, 2004).

La ingestión de alimentos y bebidas es una fuente importante en la entrada y asimilación de metales tóxicos y esenciales, en los seres humanos. El contenido excesivo de metales pesados en el cuerpo humano puede desvirtuar algunas funciones inmunológicas, presentando problemas gastrointestinales, hemorragias, vómito y dolores de cabeza (Gupta y Gupta, 1998). También, pueden causar intoxicación masiva, esterilidad, abortos e hipertensión (Oliver, 1997), mientras que en algunos casos puede incluso suponer un riesgo carcinogénico (Torres *et al.*, 2025). La diferencia en la absorción de metales puede atribuirse a la capacidad de retención del metal por el suelo y a la interacción planta – raíz – metal (Martínez *et al.*, 1998; Walter y Lin, 2008).

El uso de agua de ríos para propósitos de irrigación, pueden ser ricos en nutrientes, lo cual ayuda al crecimiento de las plantas. Pero cuando el agua residual se usa continuamente con fines de irrigación, los nutrientes se acumulan en el suelo lo cual puede causar efectos desfavorables ante la producción y calidad de las cosechas, también algunos nutrientes suelen lixiviarse a través de los perfiles del suelo. Por lo anterior, es importante considerar la cantidad de agua aplicada en cultivos agrícolas a manera de no afectar la fertilidad del suelo (Kiziloglu *et al*., 2008).

La región del centro de Veracruz, que comprende el transecto formado por los poblados de Angostillo y Xocotitla, es regada por agua de la microcuenca de Paso de Ovejas. Sin embargo, en los alrededores de la zona hay una gran cantidad de granjas que podrían verter sus desechos y contaminar el agua con la que se riegan los cultivos, causando daño o acumulación de metales pesados en el suelo y, en el peor de los casos, en los alimentos. Por lo que el objetivo del trabajo es determinar el contenido de metales pesados presentes en el agua y suelo en el transecto de Angostillo-Xocotitla de Paso de Ovejas, Veracruz.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

Los poblados se ubican en el centro del estado de Veracruz, en la zona semiárida, coordenadas 19° 17” latitud norte y 96° 26” longitud oeste, a 260 m de altitud (figura 1).

Orográficamente, el ejido se ubica en la planicie costera de la llanura del Sotavento, en el centro del estado. La precipitación como elemento climático es un factor primordial en el ciclo hidrológico. El ejido tiene una precipitación máxima de 1 300 mm al año, distribuida en los meses de junio a septiembre (Gomezjara *et al*., 1998).

Con base en la clasificación CETENAL/UNAM, el tipo de clima del ejido de Angostillo es Aw0(w), el más seco de los cálidos subhúmedos, con lluvias en verano. La vegetación con la que cuenta el ejido de Angostillo es selva baja caducifolia; este tipo de

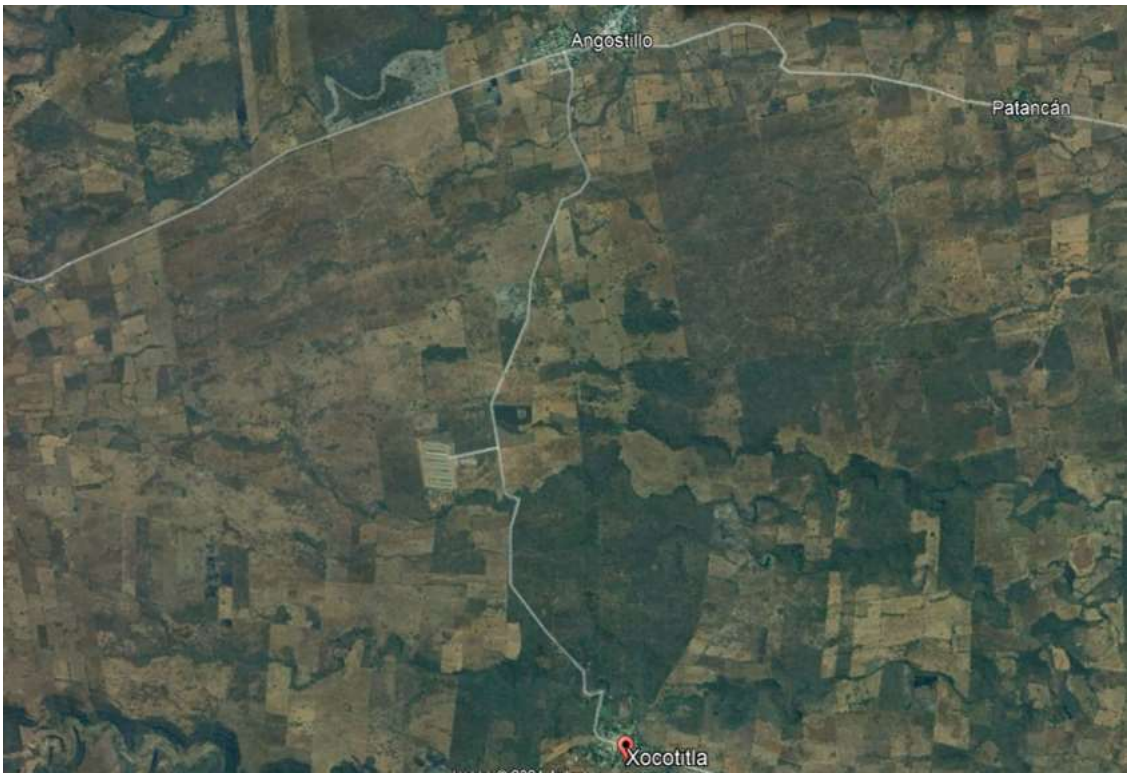


Figura 1. Ubicación geográfica de Angostillo y Xocotitla.

selva puede alcanzar los 15 m de altura y la mayoría de los árboles pierden su follaje en el periodo de máxima sequía (Gomezjara *et al*., 1998).

Análisis de las muestras de agua

Se tomaron muestras en sitios que se encuentran sobre los canales laterales que abastecen a los cultivos. Estas muestras fueron almacenadas en frascos y rotuladas para su análisis.

La determinación de metales pesados se realizó según la norma mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. Se colocaron 10 ml de muestra de agua en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y se adicionaron 20 ml de solución DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético) 0.005 molar (M), luego se tapó el matraz y se llevó a un agitador mecánico por 2 h a 120 oscilaciones/min. Posteriormente se almacenó en recipientes de polietileno de 100 ml de capacidad, hasta su análisis por espectrofotometría de absorción atómica (VARIAN55B modelo AA0909M022). Se utilizaron estándares de 5 mg L^{-1}, 10 mg L^{-1} y 20 mg L^{-1} de cada elemento.

Análisis de las muestras de suelo

La determinación de la concentración de metales pesados en suelo se realizó de acuerdo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, analizando las muestras por espectrofotometría de absorción atómica.

Se pesaron 10 g de suelo seco previamente tamizado (No.10; 2 mm), posteriormente la muestra se colocó en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y se adicionaron 20 ml de solución DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético) 0.005 molar (M), luego se tapó el matraz y se llevó a un agitador mecánico por 2 hr a 120 oscilaciones/min. Transcurrido el tiempo, se filtró la muestra con papel Whatman No. 42. y se almacenó en recipientes de polietileno de 100 ml de capacidad, hasta su análisis por espectrofotometría de absorción atómica (VARIAN55B modelo AA0909M022). Se utilizaron estándares de 5 mg L^{-1}, 10 mg L^{-1} y 20 mg L^{-1} de cada elemento.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el programa Statgraphics y Excel 2016. Se analizaron las concentraciones encontradas de metales pesados en agua, suelo y maíz.

Resultados y discusión

Metales pesados en agua

El análisis realizado a cada uno de los sitios de muestreo indica que existe la presencia de metales pesados en el agua proveniente de los ríos de la microcuenca, los cuales circulan cerca de los cultivos, tal como se muestra en la tabla 1.

En el cuadro 1 se muestran los límites máximos permisibles para metales pesados en aguas establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996.

La concentración de plomo (Pb) se detectó en todos los sitios de muestreo, y 3 se encuentran por encima del valor máximo permisible. Por otro lado, no se no se encontraron Cobalto (Co), cromo (Cr) y manganeso (Mn), en las muestras colectadas. En todas las muestras se encontraron cobre (Cu), níquel (Ni) y zinc (Zn) y estos también se encuentran dentro de los valores permisibles, ya que no superan lo establecido por la norma. Sin embargo, en las muestras se observó presencia de hierro (Fe), teniendo los valores más elevados de acuerdo a la norma.

De acuerdo con el análisis de correlación que se realizó, se encontró que los valores no son constantes entre sitios de estudio. Solo los elementos que presentaron una correlación mayor al 80% fueron el Fe con el Pb (86.84%) y el Pb con el Zn (86.54%). Esto quiere decir que estos elementos podrían provenir de fuentes antrópicas y no de origen natural.

Metales pesados en suelo

Los procedimientos analíticos tendientes a evaluar la disponibilidad de algún metal fundamentalmente se asocian a su capacidad para extraer alguna forma química del metal presente en el suelo, tal es el caso del DTPA (ácido del dietilen-triamino-pentaacético) el cual es usado por varios autores, como Méndez *et al*. (2000), y Pérez *et al*. (2008), ya que permite recuperar elementos metálicos que se encuentran en forma intercambiable.

En la tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de metales pesados en los suelos de Angostillo y Xocotitla, así como los límites máximos permisibles de referencia en la NOM-021-RECNAT-2000 (cuadro 2).

El contenido de plomo (Pb) en suelos fue de 1.10-22.23 mg kg^{-1}. Los resultados indican que la concentración de Pb es similar en todas las muestras. Los valores encontrados son menores a los límites permisibles establecidos en la norma; pero es importante monitorear estos valores ya que pueden cambiar con el tiempo por efecto de la actividad humana.

Tabla 1. Concentración de metales pesados totales en el agua de los ríos de la microcuenca comparada con el testigo.

Muestra	Cd	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Testigo	ND	ND	ND	ND	0.04	ND	ND	0.4	ND
1	0.53	ND	1.26	ND	2.3	ND	0.87	1.57	6.00
2	0.60	ND	0.93	ND	2.1	ND	1.1	1.4	5.80
3	0.40	ND	0.87	ND	1.87	ND	0.83	1.1	5.20
4	0.27	ND	0.67	ND	1.76	ND	0.77	0.80	4.93
5	0.27	ND	0.57	ND	1.47	ND	0.53	0.70	4.57

Cada valor es el promedio por triplicado de cada muestra. ND: No Detectado. Todos los valores están expresados en mg L^{-1}.

Cuadro 1. Límites máximos permisibles de metales pesados en aguas residuales según la NOM-001-SEMARNAT-1996

Metal pesado	Promedio Mensual	Promedio Diario
Pb (mg L^{-1})	0.5	1.0
Cd (mg L^{-1})	0.2	0.4
Ni (mg L^{-1})	2	4
Cu (mg L^{-1})	4.0	6.0
Zn (mg L^{-1})	10	20
Fe (mg L^{-1})	-	-

Tabla 2. Concentración de metales pesados totales en el agua de los ríos de la microcuenca comparado con el testigo.

Muestra	Cd	Co	Cu	Cr	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Testigo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1.1	ND
1	3.19	12.37	12.67	21.17	17410.33	533	56.9	12.8	49.53
2	1,67	8.77	18.8	11.9	15921	453	8.43	20.37	58
3	1.43	8.53	18.03	13.27	15224.33	474.67	10.8	21.7	57.40
4	0.94	8.97	23.30	14.13	19455.33	421	16.10	22.23	77.4
5	0.86	12.87	19.37	15.13	24847.67	474.33	16.03	20.37	63.1

Cada valor es el promedio por triplicado de cada muestra. ND: No Detectado. Todos los valores están expresados en mg kg^{-1}

Cuadro 2. Límites máximos permisibles de metales pesados en suelos según la NOM-021-RECNAT-2000.

Metal pesado	Normal	Peligroso
Pb (mg kg^{-1})	35	100-300
Cd (mg kg^{-1})	0.35	10-35
Ni (mg kg^{-1})	50	100
Cu (mg kg^{-1})	13-24	>24
Zn (mg kg^{-1})	40-120	>120
Fe (mg kg^{-1})	50-200	200-500

En cuanto a los demás metales, solo el hierro está por encima de los niveles permisibles, mostrando valores muy elevados que podrían ser peligrosos.

La concentración de cobre es inferior a la presentada por Cajuste *et al.* (1991), quienes reportan valores de 24 y 25 mg kg-1 en suelos regados con agua residual ubicados en el Valle del Mezquital.

Por otra parte, la concentración de zinc (Zn), fue similar en todas las muestras. Ramos *et al*. (2001), reportan concentraciones de zinc en suelos ubicados en el Valle del Mezquital de 22 mg kg^{-1}, los cuales son muy inferiores a los encontrados en el presente trabajo de investigación, así que de acuerdo con lo establecido por la NOM-021-RECNAT-2000 los valores de Zn encontrados en las muestras de suelo se encuentran dentro de un nivel adecuado.

La concentración de hierro en suelo en las muestras estudiadas fue variable. Las concentraciones de Fe detectadas en el presente proyecto de investigación son mucho mayores a los valores detectados por Méndez *et al*. (1997) en suelos del Distrito de Riego 030 de Tecamachalco, donde los valores promedio encontrados fueron de 15.3 mg kg^{-1}. Parte de esta concentración podría venir del agua y si los pobladores consumen esta agua podría acarrearles problemas de salud como la hemosiderosis que es provocada por excesivos depósitos de hemosiderina en el hígado y el bazo; y hemocromatosis que son excesivos depósitos de hierro en los tejidos corporales (Amatriain, 2000).

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de laboratorio, se concluye que existe la presencia de metales pesados (Pb, Ni, Cu, Zn) en suelo, sin embargo; estas concentraciones se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos en la norma, a excepción del hierro.

El cobalto y manganeso no se detectaron en las muestras de agua, pero sí en las de suelo, esto quiere decir que es de una fuente natural.

La mayoría de los elementos estuvieron dentro de los parámetros tolerados. Sin embargo, el hierro se encuentra por encima de los valores permisibles y se tiene que tomar en cuenta por los posibles efectos negativos que podrían tener a la salud.

Es importante mantener una inspección periódica en el sitio de estudio, ya que es una fuente potencial para que aumente la contaminación, por fuentes de origen antrópico

Referencias

Amatrain, E. M. 2000. Efectos del exceso de hierro sobre la salud. *Medicina Naturista*, 2: 92-95. ISSN 1576-3080.

Cajuste, L. J., Vázquez A. A., Siebe, G. C. D., Alcántar, G. G., Isla, B. M. L. 2001. Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia*, 35(3): 267-274

Clemente, R., Walker, D. J., Bernal, M. P. 2005. Uptake of heavy metals and As by Brassica juncea grown in a contaminated soil in Aznalcóllar (Spain): The effect of soil amendments. Elsevier. Science direct. *Environmental Pollution*, 138: 46-58.

Gomezjara, F. A., Mijares M. E., Ochoa C. R., Antúnez J. R., Hernández, R., Ma. L. 1998. Paso de Ovejas. Enciclopedia Municipal Veracruzana. Gobierno del Estado de Veracruz.

Gupta, U. C., Gupta, S. C. 1998. Trace element toxicity relationships to crop production and livestock and human health: implications for management. *Commum. Soil Sci. Plant Anal*., 29:1491-1522.

Kabata-Pendias, A. 2004. Soil-plant transfer of trace elements-an environmental issue. *Geoderma*, 122: 143-149.

Kiziloglu, F. M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., Dursun, A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties af cauliflower (Brassica olerecea L. var. botrytis) and red cabbage (Brassica olerecea L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Elsevier. Science Direct. *Agricultural Water Management*, 95: 716-724.

Lasat, M.M., 2000. The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil. American Association for the Advancement of Science, *Environmental Science and Engineering Fellow*. 33 p.

Lucho, C. A., Prieto, F., Del Razo, L. M., Rodríguez, R., Poggi, H. 2005. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. Agriculture, *Ecosystems and Environment*, 108: 57-71.

Martínez R. L. M., Carranza M. A., García M., Aguirre G. A. 1998. Impacto sobre los recursos naturales del Río Ayuquila por actividades agropecuarias urbanas e industriales. La investigación Edafológica en México 1997-1998. XXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tapachula, Chiapas. 56 pp.

Méndez, G. T., Rodríguez, D. L., Palacios, M. S. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. *Terra Latinoamericana*, 18: 277-288.

NMX-AA-051-SCFI-2001. 2001. Análisis de agua -

Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. Diario Oficial de la Federación. Secretaria de Economía. 51 pp.

NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación. Secretaria de Economía. 73 pp.

Nriagu, J.O. 1990. Global metal pollution. Poisoning the biosphere? *Environment*, 32**:** 28-33.

Oliver, M. A. 1997. Soil and human health: a review. *European Journal of Soil Science*, 48: 573-592.

Pérez, O. M. A., García, M. R., Vázquez, A. A., Colinas, L. T., Pérez, G. M., Navarro, G. H. 2008. Concentración de Pb, Cd, Ni y Zn en suelos contaminados y su transferencia a la pella de brócoli. *Terra Latinoamericana*, 26: 215-225.

Torres, M., Gallegos, A., Aguilera, A., López, D., Goguitchaishvili, A., Bautista, F. 2025. Indoor and Outdoor Heavy Metal Contamination in the City of Morelia, Mexico: A Case of Citizen Science During the COVID-19 Pandemic. *Indoor Air*, 2025: 1-14. https://doi.org/10.1155/ina/4900521

Walker, C., Lin H. S. 2008. Soil property changes after four decades of wastewater irrigation: A landscape perspective. *Catena*, 73: 63-74.