

Evaluación de la contaminación por metales pesados y arsénico en sedimento en embalses del estado de Chihuahua, México

Y. Hernández-García¹, M. Sosa-Cerecedo^{2*}, M. Moreno¹, J. Alcalá¹ y S. Puga¹

¹Estudiante posgrado. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia. Periférico Francisco R. Almada, Km 1.

²Profesor-Investigador. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia. Periférico Francisco R. Almada, Km 1.

Recibido 30 mayo 2007, revisado 24 septiembre 2007, aceptado 10 noviembre 2007

Contamination evaluation by heavy metals and arsenic in sediment in reservoirs in the state of Chihuahua, Mexico

Abstract

The pollution due to heavy metals and metalloids has gained a major relevance worldwide. The objective of this work was to evaluate the pollution due to big concentrations of heavy metals and Arsenic in the water sediments of the following dams: La Boquilla, Las Vírgenes and El Granero; all three are located in the State of Chihuahua, Mexico. Sediment samples were obtained in two different places at each dam during the four seasons of years 2005 and 2006. A sediment sample of 1.5 kg (3.3 lb) was taken at a distance of 1.5 m (4.92 ft) from each dam's shore. A portion of 1 kg (2.2 lb) of the sample was used to determine the MO, pH, salinity and clay contents. The metals were analyzed after making an acid extraction. The As was analyzed using a spectrometer coupled with a hydride generator; while Cu, Pb and Zn were analyzed using ICP. A multivariate analysis with a significance level of 95% was made to the data. The results showed that As and Pb concentrations in the sediments did not vary in the three dams ($P>0.05$), while Zn levels varied in the three dams ($P<0.05$). On the other hand, Cu, Pb and Zn concentrations varied through the four seasons ($P<0.05$). The highest concentration of As ($15.65 \pm 2.49 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu ($4.50 \pm 1.14 \text{ mg kg}^{-1}$) and Zn ($118.10 \pm 12.56 \text{ mg kg}^{-1}$) in the three dams was found to be under the acceptable levels. Pb concentrations were found to be above the 50 mg kg^{-1} recommended. We consider that the three tested dams showed a strong pollution due mainly to Pb during the four seasons of a year.

Key words: Sediment, heavy metals, arsenic, dams.

Resumen

La contaminación por metales pesados y metaloides ha ganado mayor relevancia a nivel mundial. El objetivo fue evaluar la contaminación por metales y arsénico en el sedimento de las presas la Boquilla, las Vírgenes y el Granero en Chihuahua, México. Se obtuvieron muestras de sedimento en dos sitios en cada presa durante las cuatro temporadas climáticas; en el periodo 2005-2006. Se tomó 1.5 kg de muestra a una distancia del borde de 1.5 m. Una porción de 1 kg de muestra se utilizó para cuantificar el contenido de MO, el pH, la salinidad y la arcilla. Los metales fueron analizadas después de una extracción ácida. El As se analizó con un espectrofotómetro acoplado con generados de hidruros y el Cu, Pb y Zn por ICP. Se utilizó un análisis multivariado con un límite de confianza al 95%. Los resultados mostraron que la concentración de As y Pb en el sedimento no varió entre presas ($P>0.05$). Mientras que los niveles de Cu y Zn variaron entre presas ($P<0.05$) y las de Cu, Pb variaron entre temporadas ($P<0.05$). Las máximas concentraciones medias de As ($15.65 \pm 2.4 \text{ mg kg}^{-1}$), Cu ($4.50 \pm 1.14 \text{ mg kg}^{-1}$) y Zn ($118.10 \pm 12.56 \text{ mg kg}^{-1}$) en las tres presas se encontraron por debajo de los límites permisibles. Las concentraciones de Pb se mostraron por encima del límite de 50 mg kg^{-1} recomendado. Se concluye que las tres presas.

* Autor de correspondencia
E-mail: msosac@uach.mx

Palabras clave: Sedimento, metales pesados, arsénico, presas.

Introducción

La cuenca del Río Conchos provee agua a más de un millón de habitantes del estado de Chihuahua. Abastece de agua a la industria, la ganadería y la agricultura; siendo el riego el uso predominante en un 57% (Kelly, 2001). Igualmente ofrece el espacio para el desarrollo de actividades ecoturísticas. Desafortunadamente, hay estudios que demuestran que sus aguas (Gutiérrez et al., 1999; Kelly, 2001; Rubio et al., 2004; Holguín et al., 2006) y sedimentos (Gutiérrez, 1999, Rubio et al., 2005) están contaminados. Existen evidencias de que la contaminación por metales pesados en sedimento se ha magnificado con el incremento de descargas residuales a los cuerpos de agua. En los sistemas acuáticos los metales se disuelven en el agua y bajo condiciones fisicoquímicas específicas se precipitan al sedimento, y en ocasiones, se disuelven de nuevo (Lu et al., 2005). Santos-Bermejo et al., (2003) reconocieron la calidad del sedimento como un importante indicador de la contaminación del agua. Esto se debe a que el sedimento actúa como un sistema colector de contaminantes. Esta cualidad permite hacer un análisis histórico de los contaminantes vertidos en cierta zona. Se debe tomar en cuenta que elementos como fierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn), son constituyentes normales de los ambientes acuáticos. Sin embargo todos los elementos en cierta concentración son tóxicos, dada su persistencia, bioacumulación y la posibilidad de incorporarse a la cadena trófica (Wang et al., 2005). Algunos estudios indican que la ingesta de sedimento es una fuente importante de metales pesados para la biota acuática (Lu et al., 2005; Wang et al., 2005). Así mismo, se han realizado investigaciones que demuestran los efectos adversos ocasionados por los metales en la salud humana y en el desarrollo de los ecosistemas. Valitutto et al., (2006) reportaron que los metales pesados son especialmente tóxicos debido a la facilidad de unirse a las proteínas e impedir el funcionamiento del Ácido Desoxirribonucleico (ADN). Kertész et al., (2006) encontraron que elevadas concentraciones de Cu y Pb pueden causar efectos de mortalidad y teratogénicos en aves acuáticas. Por otro lado, se tienen informes de la captación de metales por las plantas acuáticas y que

posteriormente, pasan a la biota acuática (Peijnenburg et al., 2003; Vardanyan et al., 2006). Bajo este contexto el análisis de la calidad del sedimento ha ganado mayor relevancia a nivel mundial.

El objetivo fue evaluar la concentración de metales pesados y arsénico en sedimento de las presas Francisco I. Madero, Luís L. León y la Boquilla durante las cuatro estaciones climáticas. El resultado de este estudio ofrecerá apoyo a las dependencias ambientales y a los sistemas de salud para la implementación de medidas preventivas y/o correctivas en la cuenca.

Material y métodos

Área de estudio

La Cuenca del Río Conchos pertenece a la Región Hidrológica RH24 Bravo-Conchos en Chihuahua, México. Abarca el 2.99% de la superficie estatal (68,387 km²). Se divide en 7 subcuencas. Cuenta con tres presas de importancia como la Boquilla, conocida como lago Toronto, la cual pertenece a la subcuenca Conchos-Colina. Se ubica en los municipios de Valle de Zaragoza y San Francisco de Conchos; a una altura de 1,265 msnm. Las coordenadas geográficas de la cortina son 27°32' 41.10" de latitud y 105° 24' 51.09" de longitud. Regula principalmente las aguas del río Conchos y, abastece de agua al distrito de Riego Delicias (005). El clima es semiseco templado con una temperatura media anual de 18.7°C y una precipitación media anual de 466.1 mm (Kelly, 2001; SAGARPA, 2003).

Por otro lado, la presa Fco. I. Madero, conocida como las Vírgenes, pertenece a la subcuenca San Pedro. Se sitúa sobre el cauce del río San Pedro, en el municipio de Rosales. Las coordenadas geográficas de la cortina son 28° 09' 58.82" latitud y 105° 37' 43.95" longitud. Abastece al distrito de riego Delicias (005). El clima es semiárido extremoso, con una temperatura media anual de 18.6° C. La precipitación pluvial media anual es de 294.7 mm (Kelly, 2001; SAGARPA, 2003).

Mientras que la presa Luís L. León, llamada el Granero corresponde a la subcuenca Conchos-Granero. Se localiza en el municipio de Aldama y recoge las aguas del río Chuvíscar. Las coordenadas

geográficas de la cortina son 28°09' 58.82" latitud y 105° 16' 46.81" longitud. Abastece al distrito de riego Bajo Río Conchos (090). El clima corresponde a semidesértico con una temperatura media anual de 18.3° C y una precipitación media anual de 320 mm (SAGARPA, 2003; Rubio et al., 2004).

Muestreo

Se obtuvo muestras de las tres presas durante las cuatro temporadas climáticas, iniciando en Octubre de 2005 y finalizando en Septiembre del 2006. En cada presa se seleccionaron dos sitios en forma aleatoria, tomando una muestra por sitio.

Se recolectó 1.5 kg sedimento superficial (0-10 cm) a aproximadamente 1.5 m de distancia del borde. Este procedimiento se realizó con un tubo de PVC de 7 cm de diámetro y 1 m de largo. Las muestras se almacenaron en bolsas de plástico con cierre hermético a 4°C hasta su análisis. Una porción de 1 kg se utilizó para un análisis fisicoquímico, el cual se llevo a cabo en el Laboratorio de Análisis de suelo, planta y agua de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la Universidad Autónoma de Chihuahua

Análisis de metales

El procedimiento de digestión y cuantificación de los metales se realizó en el Laboratorio de Análisis Químicos del Centro de Investigación de Materiales Avanzados (CIMAV) de la ciudad de Chihuahua. El procedimiento inicio con un secado de las muestras a 50°C por 48 h (Shel Lab, 1350FX), posteriormente se trituraron, se homogenizaron y se cribaron (0.75 µm). El proceso de digestión se llevó a cabo con 1±0.002 gr de peso seco (Mettler Toledo, AB204) y una solución 1:3 de HNO₃-HCl (Alta pureza, JT Baker) (Ščančar et al; 2000). Posteriormente se calentó por 3 h (Thermolyne,

HP47135-60), se filtró (Whatman #2) y se aforó a 100 ml con agua tridestilada (JT Baker).

La cuantificación de As se realizó en el espectrofotómetro de absorción atómica GBC marca Avanta E acoplado con generador de hidruros (HG 3000). Mientras que la cuantificación de Cu, Pb y Zn fue en el espectrómetro de emisión de plasma óptico marca Thermo Farell Ash, modelo IRIS/AP DUO. El estándar utilizado para As fue el estándar High-Purity de 1000 ppm, mientras que para Cu, Pb y Zn, se utilizó el estándar Quality Control Std 19 de 100 ppm. La longitud de onda para el As fue 193.7 nm, para Cu fue 324.754 nm, para Pb fue 220.353 nm y para Zn fue 21.856 nm. El análisis de los datos se realizó por un análisis multivariado. Se estableció un límite de confianza al 95%. Estos procedimientos se desarrollaron con ayuda de los paquetes estadísticos SAS V6.12.

Resultados

La Tabla 1 muestra los valores de los parámetros fisicoquímicos obtenidos del análisis del sedimento de las tres presas durante las cuatro temporadas climáticas. Desafortunadamente las muestras de la temporada de otoño no se analizaron debido a que se obtuvo muy poca muestra. Las medias de pH oscilan entre 7.3±0.04 y 7.76±0.04. El valor mínimo (7.19) se dio en la presa la Boquilla en el verano. Por otro lado el promedio en el % de MO vario de 0.5±0.14 a 0.76±0.14. Se observó que el valor máximo (1.1%) se presentó en la presa las Vírgenes durante el verano. El análisis de salinidad mostró valores promedios de 0.86±0.16 a 1.56±0.18 mmhos cm⁻¹. Mientras que el % de arcilla en las muestras se observo en un rango de 17.9±1.66 a 23.65±1.66%. Por lo que la mayoría de las muestras fueron clasificadas como arena arcillosa.

Tabla 3. Concentración media de metales en sedimento por temporadas.

Elemento	P	Otoño (mg kg ⁻¹)	Invierno (mg kg ⁻¹)	Primavera (mg kg ⁻¹)	Verano (mg kg ⁻¹)
As	0.0986	9.1164±2.55	9.34±2.55	16.03±2.84	16.62±2.55
Cu	0.05	3.07±1.14	4.50±1.14	0.79±1.27	0±1.14
Pb	0.0017	86.09±5.82	94.27±5.82	58.17±5.47	64.82±5.82
Zn	0.2455	78.81±14.5	85.43±14.5	74.02±16.12	114.81±14.5

Metales en sedimento

Las tablas 2 y 3 muestran las medias de las concentraciones obtenidas en el análisis de sedimento durante las temporadas y en las presas. El análisis de As no mostró diferencias entre presas ($P>0.05$), así como entre temporadas ($P>0.05$). Las concentraciones oscilaron entre 9 y 16 mg kg^{-1} . Por otro lado el análisis de varianza del Cu mostró significancia entre presas ($P<0.05$) y entre temporadas ($P<0.05$). Los promedios de la concentración de Cu en las presas oscilaron de 2.57 ± 1.07 a $3.70\pm 0.99 \text{ mg kg}^{-1}$. En la presa las Vírgenes no se detectó este elemento bajo la técnica utilizada, al igual que en la época de verano. La temporada de primavera presentó una concentración promedio de $0.79\pm 1.26 \text{ mg kg}^{-1}$, siendo esta la mas baja. El análisis del metal Pb mostró significancia únicamente entre temporadas ($P<0.05$). Las concentraciones medias de Pb variaron de 58.17 mg kg^{-1} a 94.27 mg kg^{-1} durante las cuatro temporadas. Mientras que el análisis de Zn presentó diferencias entre presas ($P<0.05$). Donde se observó que el máximo nivel lo presentó la presa las Vírgenes, con una concentración de

La importancia en el análisis de los parámetros del sedimento radica en que la toma, bioacumulación y movilización de los metales en este medio es dependiente de estos factores (Rubio et al., 2005). Se sabe que la arcilla posee cargas eléctricas negativas que ocasiona que la partícula atraiga cationes. Además está íntimamente ligada con la MO. Una disminución del contenido de esta reduce la capacidad de intercambio catiónico, lo que genera una baja capacidad de retención de los metales. De igual modo, el descenso en el pH incrementa la solubilidad de los metales. Mientras que un incremento en la salinidad solubiliza los compuestos por la alteración del equilibrio de cambio iónico (García et al., 2006).

Metales sedimento

Los resultados de las concentraciones (Tabla 2 y 3) indican que con excepción del Pb, todos los elementos están dentro de los límites propuestos por Chen, (2000) y García et al., (2006). El As es un metaloide, considerado de los más tóxicos, presente en ciertos fertilizantes. Se le relaciona con la aparición de cáncer hepático y pulmonar (ASTDR

Tabla 2. Concentración media de metales en sedimento por presas.

Elemento	P	Boquilla (mg kg^{-1})	Granero (mg kg^{-1})	Vírgenes (mg kg^{-1})
As	0.236	15.65 ± 2.4	9.85 ± 2.21	12.85 ± 2.21
Cu	0.0485	2.57 ± 1.07	3.70 ± 0.99	0 ± 0.99
Pb	0.0001	75.65 ± 5.46	63.4 ± 5.04	82.47 ± 5.04
Zn	0.0330	67.12 ± 13.62	79.6 ± 12.56	118.10 ± 12.56

Tabla 3. Concentración media de metales en sedimento por temporadas.

Elemento	P	Otoño (mg Kg^{-1})	Invierno (mg kg^{-1})	Primavera (mg kg^{-1})	Verano (mg kg^{-1})
As	0.0986	9.1164 ± 2.55	9.34 ± 2.55	16.03 ± 2.84	16.62 ± 2.55
Cu	0.05	3.07 ± 1.14	4.50 ± 1.14	0.79 ± 1.27	0 ± 1.14
Pb	0.0017	86.09 ± 5.82	94.27 ± 5.82	58.17 ± 5.47	64.82 ± 5.82
Zn	0.2455	78.81 ± 14.5	85.43 ± 14.5	74.02 ± 16.12	114.81 ± 14.5

$118.101 \text{ mg kg}^{-1}$.

Discusión

a, 2005). El análisis mostró que las concentraciones promedio de As ($<17 \text{ mg kg}^{-1}$) fueron menores al

los 41 mg kg⁻¹ propuesto por Chen, (2000). Rubio et al., (2005) indicaron que un suelo típico contiene de 5 a 40 mg kg⁻¹. Bajo este criterio las concentraciones encontradas corresponden a las de un suelo típico. No se observó diferencias durante las 4 temporadas climáticas, al igual que en las tres presas. Estudios previos reportaron niveles entre 1.28 a 2.19 mg kg⁻¹ para las áreas ribereñas del río Conchos (Rubio et al., 2005). De forma contraria el Cu mostró diferencias en las presas y durante las temporadas. Se indica una concentración límite de 50 mg kg⁻¹ (García et al., 2006), observando que las concentraciones promedio reportadas están dentro del estándar (< 5 mg kg⁻¹). Gutiérrez, (1999) encontró concentraciones que oscilan entre 4.70 a 17.2 µg g⁻¹ para la parte baja del río Conchos y el río San Pedro. Mientras que Rubio et al., (2005) reportaron una concentración media de 1.12 mg kg⁻¹, para las áreas ribereñas del río Conchos. Bajo este contexto el Cu no representa, hasta el momento, un problema al medio.

El Pb presentó diferencias entre temporadas; se reportó concentraciones promedio superiores a los 55 mg kg⁻¹, las cuales están por encima de los 50 mg kg⁻¹ recomendados (García et al., 2006). Estudios previos reportaron niveles máximos de 36.71 mg kg⁻¹ en la zona de Ojinaga y acumulaciones significativas en la presa el Granero (Gutiérrez, 1999; Rubio et al., 2005). Siendo estos niveles menores a los observados. Se puede predecir que los niveles de Pb pueden ser un problema para las especies que habitan las presas debido a que los peces adsorben el Pb por el agua, entrando así a la cadena trófica. Posteriormente inhibe la actividad de varias enzimas del metabolismo hemoglobínico, lo que reduce el balance de oxígeno y el volumen respiratorio. Hay evidencias de que ciertos fertilizantes presentan altas concentraciones de Pb. Aunado a esto, es retenido en las capas superiores del suelo, por lo que es susceptible al arrastre hacia los cuerpos de agua. Pudiendo ser estos factores causantes de los altos niveles de este elemento en las presas (ATSDR b, 2005; CES, 2003). Mientras que el Zn solo presentó diferencias entre presas. Sin embargo, las concentraciones registradas fueron menores a los 120 mg kg⁻¹, quedando dentro del límite de 200 mg kg⁻¹ (García et al., 2006). Estos resultados coinciden con los reportados por Rubio et al., (2005), donde encontraron niveles de 74.05 mg kg⁻¹ en el área ribereña de Ojinaga. Por lo que se puede

establecer que hasta el momento este elemento no es un problema en los sistemas acuáticos.

Conclusiones

En este estudio se observa que el sedimento es un reservorio importante de metales. Se muestra que las presas las Vírgenes, la Boquilla y el Granero presentan niveles de Pb por encima de las recomendadas; siendo este una posible fuente de contaminación para peces. Así mismo, se observa cambios en las concentraciones de Cu y Pb durante las cuatro temporadas climáticas. Al igual que los cambios presentados por el Cu y Zn en las tres presas. Se considera que las descargas agrícolas contribuyen a modificar los niveles de los contaminantes en el medio acuático. Por tal motivo se recomienda evaluar la presencia de elementos tóxicos en las descargas tanto agrícolas como urbanas; así como la implementación de sistemas de tratamiento de aguas para así disminuir los niveles de Pb registrados. De igual modo es recomendable realizar análisis a las especies acuáticas y a las poblaciones humanas que habitan cerca de las presas, con la finalidad de evaluar la presencia de algún elemento tóxico como el Pb.

Agradecimientos

Al laboratorio de Análisis Químicos de CIMAV; en especial a Miryam Moreno, Silvia Miranda, Alma Rubio y Alejandro Benavides. Al igual que a la Facultad de Zootecnia de la UACH.

Bibliografía

- ATSDR a, 2005. Arsénico (Arsenic). Agency for toxic substances and disease registry. Estados Unidos de America.
- ATSDR b, 2005. Plomo (Lead). Agency for toxic substances and disease registry. Estados Unidos de America.
- CES, 2003. Plomo y sus compuestos inorgánicos. Centre for ecological sciences, India.
- García, I. y Dorronsoro, C., 2006. Contaminación por metales pesados. España.
- Gutiérrez, M. y Borrego, P., 1999. Water quality assessment of the rio Conchos, Chihuahua, Mexico. Environment International, 25: 573-583.
- Gutiérrez, M., 1999. Trace elements concentration patterns in sediments of the lower rio Conchos, Mexico. Water, air and soil pollution, 121: 259-270.
- Holguín, H., Rubio, H., Olave, M.E., Saucedo, R., Gutiérrez, M. y Bautista, R., 2006. Calidad del agua del río Conchos en la región de Ojinaga, Chihuahua: Parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides. Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo, 22(1): 51-63

- Kertész, V., Bakonyi, G. y Farkas, B., 2006. Water pollution by Cu and Pb can adversely affect mallard embryonic development. *Ecotoxicology and environmental safety*, 65: 67-73.
- Kelly, M.E., 2001. El río Conchos: Un informe preliminar. Texas Center for Policy Studies.
- Lu, X.Q., Werner, I. y Young, T.M., 2005. Geochemistry and bioavailability of metals in sediments from northern San Francisco bay, *Environment International*, 31(4): 593-602.
- Peijnenburg, W.J.G.M. y Jager, T., 2003. Monitoring approaches to assess bioaccessibility and bioavailability of metals: Matrix issues. *Ecotoxicology and environmental safety*, 56: 63-77.
- Rubio, H., Saucedo, R.A., Wood, K., Nuñez, A. y Jimenez, J., 2005. Metal contamination of a riparian area in the Conchos watershed of Chihuahua, Mexico. *Water Resources Management III*, 80: 269-274.
- Rubio, H., Word, K. y Alanis, H.E., 2004. Water pollution in the rios Conchos of northern Mexico, En: G. Latini, G. Passerini y C.A. Brebbia (Eds), *Development and application of computer techniques to environmental studies X*. Wit Press, pp167-176.
- Santos-Bermejo, J.C., Beltran, R. y Gómez-Ariza, 2003. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain). *Environment International*, 29(1): 67-77.
- SAGARPA, 2003. Hidrografía del estado de Chihuahua. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México.
- Ščančar, J., Milačič, R. y Horvat, M., 1999. Comparison of various digestion and extraction procedures in analysis of heavy metals in sediment. *Water, air and soil pollution*, 118: 87-99.
- Valitutto, S.R., Sella, S.M., Silva-Filho, E.V., Guimarães-Pereira, R. y Miekeley, N., 2006. Accumulation of metals in macrophytes from water reservoirs of a power suplí plant, Rio de Janeiro state, Brazil. *Water, air and soil pollution*, 178: 89-12.
- Vardanyan, L.G. y Ingole, B.S., 2006. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. *Environment International*, 32(2): 208-218.
- Wang, Y., Liang, L., Shi, J. y Jiang, G., 2005. Study on the contamination of heavy metals and their correlations in mollusks collected from coastal sites along the Chinese Bohai sea. *Environment International*, 31: 1103-1113.
- Chen, Z.S., 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. Taiwan.