

PRESENCIA DE METALES PESADOS EN TEJIDOS DE PECES

Lozada, J.¹

1. Introducción

Los metales pesados continuamente se transportan entre el suelo, los organismos, el agua y la atmósfera, haciendo parte del ciclo biogeoquímico, estos procesos son complejos y se interrelacionan estrechamente en la naturaleza, los cuales son afectados por factores naturales y antropogénicos.

Las actividades antropogénicas, tales como las industrias de minería, la fundición, la aplicación de lodos para la depuración y el uso de fertilizantes minerales son aspectos significativamente responsables de elevadas concentraciones de metales traza en los diferentes ecosistemas (Devkota y Schmidst, 2000; Frost y Ketchum, 2000; Adriano, 2001; Singh et al, 2004;. Mapanda et al, 2005).

El suelo es una fuente de emisión de muchos contaminantes a la atmósfera, las aguas subterráneas y de los vegetales (Chen et al., 1997, 2008). La contaminación de los suelos agrícolas con metales es uno de los problemas actuales del medio ambiente. Los suelos contaminados aumentan la liberación y absorción de metales contaminantes por los vegetales lo cual es una amenaza para la salud humana, además mediante la transferencia trófica en la cadena alimentaria se transmiten de un organismo a otro, siendo los ecosistemas acuáticos los más afectados puesto que todas las aguas de lavado llegan a los recursos hídricos por procesos hidrodinámicos (Cui *et al*, 2005; Zhang *et al.*, 2007).

Estos elementos pueden ser liberados a la columna de agua por cambios de las condiciones ambientales tales como pH, potencial redox, oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Förstner, 1987; Sigg y col 1987; Carignan y Tessier, 1988; Vainithayanathan y col, 1993; Singh y col 1999), por esta razón las aguas contienen disueltos numerosos solutos como gases, iones de metales alcalinos, metales pesados y materia orgánica. Además contienen una gran cantidad de materiales suspendidos como coloides y material particulado. Al igual que en condiciones controladas, los cambios en los parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, potencial redox, etc, producen cambios en la composición de los cuerpos de agua naturales debido a modificaciones en las diferentes solubilidades de los materiales disueltos en ellas. Por ejemplo, un cambio de temperatura podría provocar una modificación de la solubilidad de iones y gases; un cambio en el potencial redox o en el pH, modificación en la solubilidad de metales pesados.

Los metales pesados son muy dañinos debido a su carácter no biodegradable, larga vida media biológica y su potencial de acumulación en diferentes partes del cuerpo.

¹ Departamento de Química, Universidad de Nariño.

La mayoría de los metales pesados son extremadamente tóxicos debido a su solubilidad en agua, incluso bajas concentraciones de metales pesados tienen efectos perjudiciales para el hombre y los animales porque no hay buen mecanismo para su eliminación del cuerpo.

Los alimentos y el agua son las principales fuentes de nuestros metales esenciales, que son también los medios de comunicación a través del cual estamos expuestos a diferentes metales tóxicos. Los metales pesados son fácilmente acumulados en las partes comestibles de las hortalizas de hoja, en comparación con los cultivos de cereales o frutas y en tejidos grasos propios de los animales (Mapanda, Mangwayana, Nyamangara, y Giller, 2005).

Una serie de graves problemas de salud pueden desarrollarse como consecuencia de la absorción excesiva de la dieta metales pesados. Por otra parte, el consumo de metales pesados presentes en alimentos contaminados puede agotar seriamente algunos nutrientes esenciales en el cuerpo causando una disminución en las defensas inmunológicas, retardo del crecimiento intrauterino, alteración de la conducta psicosocial, las discapacidades asociadas a la desnutrición y una alta prevalencia de cáncer gastrointestinal superior.

El crecimiento exponencial de la población mundial ha obligado a que se desarrollen sistemas intensivos de producción de recursos alimenticios, dentro de los cuales se encuentra la acuicultura que permite obtener proteína de buena calidad para cubrir las necesidades de la comunidad y evitar agotar los recursos acuáticos naturales.

El principal recurso que se requiere para desarrollar las prácticas acuícolas es el agua, donde esta debe cumplir con las propiedades de acuerdo al proceso que se desea desarrollar, las cantidades de agua necesaria en estas actividades son relativamente altas, para cumplir con estas demandas es necesario acceder a las fuentes naturales, hoy en día se ha observado un deterioro acelerado de los recursos hídricos naturales por los procesos de contaminación con elementos y sustancias tóxicas, obligando a desarrollar sistemas especiales de tratamiento que permita usar este recurso, de tal manera que los productos obtenidos cumplan con los estándares de calidad de acuerdo a las normas vigentes, esta situación incrementa los costos de producción.

Esta es la época del aseguramiento de la calidad, donde esta mide, se analiza y se discute, lo cual permite acceder a procesos de acreditación y certificación de servicios y productos de acuerdo a los estándares internacionales, la competitividad es otro aspecto que en los últimos tiempos se ha incrementado por los procesos de los tratados de libre comercio, es por estas razones que se requiere que la producción de productos acuícolas tengan un estricto control de calidad evitando contenidos de metales pesados en sus productos, ya que es la vía más directa para contaminar a los consumidores.

2. Presencia de metales pesados en peces

Aunque existen criterios para establecer los contenidos máximos de metales pesados en peces, generalmente se establecen por medio de bioensayos, estos elementos

aunque se encuentren en cantidades inferiores son una amenaza si el organismo sigue expuesto a su presencia, debido a la capacidad de bioacumularse en algunos tejidos, en la tabla 1 observamos algunas cantidades permitidas para Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb).

Tabla 1. Contenidos de metales en organismos marinos según CPPS/PNUMA/COI

Metal	Riesgo mínimo (ppm)	Niveles letales (ppm)
Cd	0.00	10^{-4}
Cr	0.01	0.1
Hg	0.01	0.05
Pb	0.01	0.02

De acuerdo a estos contenidos para realizar el seguimiento a estos elementos es necesario usar métodos analíticos que involucren técnicas que garanticen una medición confiable, según los estándar métodos la técnica más confiable para detectar y cuantificar elementos a estas cantidades es la espectrofotometría de absorción atómica.

2.1. Presencia de metales pesados en peces del río Cauca en el Valle del Cauca

En los ríos del Valle del Cauca especialmente en el río Cauca, en una época se presentaba el fenómeno llamada “aguas malas”, el cual consistía en mortandades masivas de peces, en un principio no se conocía la causa de este problema una vez se iniciaron los estudios para evaluar la contaminación química en peces se pudo observar tóxicos como metales pesados, cianuros, etc. y cambios bruscos en las condiciones fisicoquímicas del agua, siendo una combinación de estos factores los causantes de este fenómeno.

Los contenidos de metales pesados en el río Cauca (Tabla 2) indican que para el Hg y Cr están por encima de los límites permitidos, siendo una posible causa de los muchos problemas asociados de los peces y la salud humana.

Tabla 2. Contenido de metales pesados en tejidos de pescados

Metal pesado	Contenido en músculos
Hg	0.5 -102 (ppb)
Cd	Menores 0.1 ppm
Cr	Hasta 5.68 ppm
Pb	Menor de 0.1 ppm

Es preocupante las cantidades tan elevadas de Hg, pues es un elemento muy tóxico, además tiene la capacidad de bioacumularse en tejidos lo que hace que se concentre a lo largo de la red hídrica en Colombia, estos contenidos elevados se debe a que el río

Cauca es un ecosistema que recorre varios departamentos y recoge los residuos de muchas ciudades y pueblos, dentro de los cuales existen muchos con vocación minera que usan este elemento.

2.2. Presencia de metales pesados en peces del río la Vieja del Valle del Cauca

El río la vieja, es un ecosistema que atraviesa los departamentos de Quindío, Risaralda y Valle, recogiendo aguas residuales de varias ciudades y pueblos, lo cual conlleva que también presente contaminación por metales pesados en la Tabla 3 se observa los contenidos de Cd, Cr, Hg y Pb en el río la Vieja.

Tabla 3. Contenido de metales en tejidos peces del Rio la Vieja

Metal pesado	Contenido en músculos
Hg	0.2 -12 (ppb)
Cd	Menores 0.1 ppm
Cr	Hasta 3.85 ppm
Pb	Menor de 0.1 ppm

Aunque las cantidades de Hg y Cr en este rio son menores a las encontradas en el río Cauca son relativamente altas, otro aspecto a destacar es que las concentraciones de estos metales pesados no siguen un patrón de acuerdo a la época del año, por ejemplo en las variaciones de Hg y Cr en río la vieja en diferentes meses del año se presentan en la figura1.

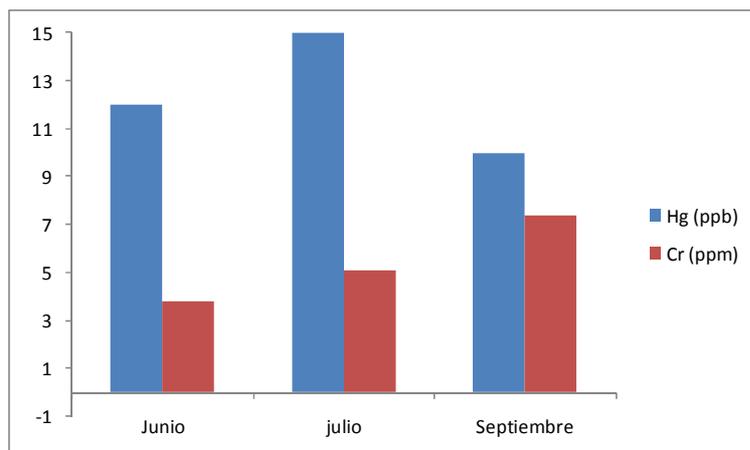


Figura 1. Contenidos de Hg y Cr en tejidos de peces del río la Vieja en diferentes meses del año.

Es evidente que no siguen un patrón determinado del contenido Hg en tejidos de peces del río la Vieja, en el caso de Cr la tendencia es aumentar en estos meses del año, cabe hacer notar que existen muchas variables que pueden afectar estos contenidos.

3. Transporte de los metales dentro de los ecosistemas acuáticos

Las aguas contienen disueltos numerosos solutos como gases, iones de metales alcalinos, metales pesados y materia orgánica. Además contienen una gran cantidad de materiales suspendidos como coloides y material particulado. Al igual que en condiciones controladas, los cambios en los parámetros fisicoquímicos como temperatura, pH, potencial redox, etc, producen cambios en la composición de los cuerpos de agua naturales debido a modificaciones en las diferentes solubilidades de los materiales disueltos en ellas. Por ejemplo, un cambio de temperatura podría provocar una modificación de la solubilidad de iones y gases; un cambio en el potencial redox o en el pH, modificación en la solubilidad de metales pesados.

Los procesos fisicoquímicos (cambios de pH, temperatura, potencial redox, oxígeno disuelto), afectan el comportamiento de los metales disueltos en niveles trazas y cada uno de los componentes del agua o del sedimento, por estos fenómenos los metales no disueltos también pueden disolverse en el sistema acuático, como se observan en la figura 2, se observa la distribución de los metales trazas, entre las distintas especies químicas y sus formas lo que finalmente determina su reactividad geoquímica y su actividad biológica

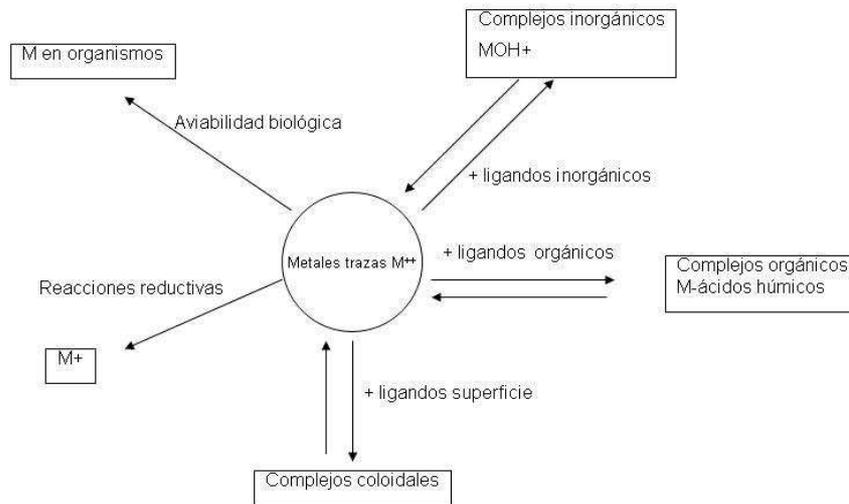


Figura 2. Comportamiento de los metales dentro de los ecosistemas acuáticos

Muchas reacciones químicas, asociaciones con coloides y partículas en suspensión o en los sedimentos son la clave de los ciclos de los metales traza en aguas naturales. De hecho, se ha encontrado que predominantemente los metales traza son llevados por partículas en suspensión y sólo una pequeña fracción es transportada en su forma soluble (Horowitz, 1991; Moore and Ramamoorthy, 1984).

Los mecanismos más importantes de asociación de metales traza en fases específicas de los sedimentos naturales pueden ser consideradas en ambientes oxidantes opuestos a ambientes anóxicos donde la precipitación de sulfuros de metales traza puede dominar (figura 3) son: (1) coprecipitación con hidruros de hierro y óxidos de manganeso y carbonatos, (2) adsorción e intercambio catiónico en las arcillas, hidruros de hierro y óxidos de manganeso y sustancias húmicas, (3) enlaces organometálicos con sustancias húmicas y (4) incorporación en la estructura cristalina de las arcillas y otros aluminosilicatos (Horowitz, 1991; Tessier, 1992).



Figura 3. Mecanismos de asociación de metales trazas en varias fases de sedimentos en posibles ambientes oxidantes.

Estos procedimientos nos indican que el comportamiento de estos elementos en aguas naturales depende de una gran cantidad de variables lo que hace imposible establecer un patrón preciso de su comportamiento.

4. Tratamiento de aguas contaminadas con metales

Uno de los problemas ambientales más importantes es la purificación de las aguas naturales contaminadas con metales pesados como Hg, Cr, Pb y Cd, puesto que son peligrosas para la salud humana, ya que estos elementos son tóxicos, recalcitrantes, no biodegradables y se concentran en las aguas con el tiempo, cuando se tratan las aguas lo que generalmente se hace es cambiar de sitio a estos elementos o cambiar el estado de oxidación por otro menos tóxico, pero es claro que el problema sigue persistiendo, es necesario indicar que en las actividades antrópicas el hombre extrae estos elementos de unos sitios y los pone en otros de acuerdo a sus necesidades, un tratamiento adecuado debería tener en cuenta este aspecto, de tal forma que se regresen a los sitios de donde han sido extraídos para complementar actividades tales como: la agricultura, tratamiento de aguas residuales, entre otros.

4.1. Sistemas convencionales de tratamiento de metales

La coagulación es un procedimiento que es ampliamente usado para precipitar partículas coloidales en suspensión, las cuales sirven como sistemas adsorbentes de metales pesados. Este procedimiento utiliza la desestabilización de los coloides ajustando el pH o agregando un agente coagulante el sulfato de aluminio, estos fenómenos desestabilizan estas partículas y aplicando procesos de filtración adecuados pueden retirarse estos elementos del medio, aunque este sistema presenta los siguientes inconvenientes: cambia las propiedades fisicoquímicas de las aguas para fines acuícolas y son relativamente altos los costos.

4.2. Irradiación

El tratamiento con haz de electrones es un fenómeno que ayuda a mitigar el problema, aunque en sí misma no puede dar lugar a la remoción de metales pesados ya que los iones del metal reducido a estados de oxidación más bajos por los electrones hidratados y átomos de hidrógeno se oxida a las formas iniciales de los radicales hidroxilo. Sin embargo, es posible combinar el tratamiento con haz de electrones con la adición preliminar absorbentes en la capa fina dispersa.

La coagulación de las partículas absorbentes y la formación de nuevos centros de adsorción en el sorbente pueden tomar parte como resultado de la irradiación. Esto puede conducir a la captura de metales pesados y como consecuencia la retirada con el precipitado por filtración. A principios de la eliminación de algunos contaminantes con el precipitado formado en el trato con haz de electrones se ha usado para agua de ríos con una alta coloración (Pikaev et al., 1996a).

La acción combinada de la irradiación electronbeam y absorbentes tiene un efecto sinérgico en la purificación del agua por metales pesados.

4.3. Sistemas de adsorción y coordinación

4.3.1. Sistemas Químicos

Los metales pesados presentan en su estructura atómica un número grande de niveles de energía, lo que genera que fácilmente pueden perder electrones generando cationes con diferentes números de carga, esto permite que puedan interaccionar iónicamente o puedan enlazarse con otras moléculas adecuadas por medio de enlaces coordinados.

En la naturaleza existen materiales que pueden retener químicamente los metales pesados como es el caso de las arcillas pilarizadas, las cuales presentan puntos activos por su estructura en donde se pueden adsorber los metales pesados, este proceso se puede realizar por medio de filtros por los cuales se hace pasar el agua y al interaccionar los metales pesados con estas estructuras son retenidos, la dificultad radica es que estos materiales se pueden saturar y pierden eficacia en la remoción lo cual conlleva a que se deba realizar un mantenimiento continuo a estos filtros, usando procesos de desorción cambiando las condiciones del medio.

Otros sistemas químicos de origen biológicos como las materias de origen vegetal, (celulosa, carboximetil celulosa, almidón, flor de trigo) pueden servir como absorbentes. Además, haciendo uso de fuerzas intermoleculares pequeñas como son las de Van der Waals, este fenómeno se presenta debido a que estas moléculas son relativamente muy largas y algunos electrones se deslocalizan formando puntos activos para adsorber contaminantes como son los metales pesados.

Las resinas sintéticas intercambiadoras de cationes son una buena alternativa, sus procesos de interacción con los metales ionizados son muy eficientes pues son de tipo

iónico, aunque presenta la dificultad que no retienen metales en estado neutro, o enlazados con otras especies que cancelan las cargas del mismo.

4.3.2. Barreras Vivas para retener metales

Los vegetales son organismos que presentan una gran capacidad para adaptarse a sistemas contaminados por metales pesados, ya que estos por medio de la clorofila puede incorporar estos elementos a sus actividades fisiológicas, existen organismos superiores que presentan esta característica como son algas, hortalizas, etc; sin embargo existen organismos inferiores como el fitoplancton que están presentes en aguas naturales que también pueden cumplir con esta función.

Los metales pesados muestran una acumulación significativa en Espinaca la más alta acumulación se ha presentado para: el hierro, manganeso, cobre y zinc, en comparación con la espinaca cultivada en sistemas libres de estos elementos, lo que indica la absorción máxima de metal para esta hortaliza (MonuArora, and al, 2008), esta situación puede considerarse un riesgo para la salud humana o también una posibilidad para remover metales pesados de las fuentes naturales de agua.

La Solución biotecnológica consiste en la instalación de humedales artificiales con plantas acuáticas que actúan como filtros naturales. Ubicados entre la planta y los recursos acuáticos (ríos, lagos, lagunas), estos sistemas, además de no necesitar mantenimiento ni consumir energía eléctrica, cuestan menos que la cuarta parte de un sistema de tratamiento tradicional. Los humedales se construyen utilizando diferentes especies de plantas que abundan en la zona: totoras, repollitos de agua, camalotes o juncos.

5. Conclusiones

Es evidente que los recursos hídricos en nuestro medio han venido sufriendo un deterioro por las actividades antrópicas que usan metales pesados, ya que estos por diferente medios llegan a las aguas naturales, estos tóxicos tienen las propiedades de ser no biodegradables, bioacumulables y recalcitrantes, estos aspectos implican que los daños al medio ambiente y a la salud humana se expresan a largo plazo, y por lo tanto se debe involucrar programas de prevención para esta problemática.

Actualmente el control de calidad de los productos acuícolas exige que se implementen sistemas de tratamiento viables técnica y económicamente para eliminar metales pesados presentes en las aguas naturales, ya que el deterioro de estos recursos cada día se hace más preocupante ya que los comercios internacionales exigen que los productos acuícolas estén libres de este tipo de contaminación.

6. Bibliografía

1. Devkota, B., Schmidst, G.H., Accumulation of heavy metals in food plants and grasshoppers from Taigetos Mountains. Greece Agric. Ecosyst. Environ. (2000) 78, 85–91.
2. Frost, H.L., Ketchum, L.H., Trace metal concentration in Durm wheat from application of sewage sludge and commercial fertilizer. Adv. Environ. (2000) Res. 4, 347–355.
3. Adriano, D.C., Trace elements in terrestrial enviroment. Springer Verlag. (1986)Pp 533.
4. Singh, K. P., Mohan, D., Sinha, S., & Dalwani, R.,. Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. Chemosphere, (2004) 55, 227–255.
5. Mapanda, F., Mangwayana, E. N., Nyamangara, J., & Giller, K. E., The effects of long-term irrigation using water on heavy metal contents of soils under vegetables. Agriculture, Ecosystem and Environment, (2005) 107, 151–156.
6. Chen, T., Liu, X., Zhu, M., Zhao, K., Wu, J., Xu, J., Huang, P., Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou. China Environ. Pollut. (2008) 151, 67–78.
7. Chen, T.B., Wong, J.W.C., Zhou, H.Y., Wong, M.H., Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. Environ. Pollut.,(1997) 96, 61–68.
8. Cui, Y., Zhu, Y.-G., Zhai, R., Huang, Y., Qiu, Y., Liang, J.,. Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning. China. Environ. (2005) Int. 31, 784–790.
9. Forstner, u. Salomons W.,. Trace metals analysis on polluted sediments. I. Assesment of sources and intensities. Enviroment Technology Letters 1, (1998) 494-505.
10. Carignan, R., Tessier, A, The co-diagenesis of sulphur and iron in acid lake sediments of sputhwestern Quebec. Geochimica at CosmochimicaActe(1998)1179-1188.
11. Vaithiya Nathan, p. Ramana than A.L., Subraminian, V., transport and distribution of heavy metals in Cauvery river. Water, air, and pollution (1993) 71, 13-28. U Chile – DGA.

12. Singh, A.K., Hasnain, S.D., Baaerjee, D.K., Grain size and geochemical partitioning of heavy metals in sediments of the DomadorRier a tributary of the cower Ganga, India. *EnviromentalGeology*(1999) 39(1), 96-98. Solís P. Gabriela, Apuntes para el curso de Fundamentos de Geología.
13. Moore, J. W., Rama Moothy, S., Heavy metals in materials waters: Applied monitoring and impact assesment. Spring-Verlag, (1984) N. York Berlin Hesdelbev g pp. 265.
14. Horowitz, A.J., Rivielle, F.A., Lomothe, P., Miller. L., Edwarde, T.K., Roche, Z.L., Ricket, D.A. varitions in suspended sediment and associated trace elements concentrations in selected Riverrine cross sections. *Enviroment Science Technology* (1990) 21, 1313-1320.
15. Pikaev, A. K., Bludenko, A. V., Makarov, I. E., Ponomarev, A. V., Minin, V. N., Ponomarev, V. 1. And Linnik, O. A., Electron-beam purification of highly-coloured river water, (1996a)*Radiat. Phys. Chem.* 48, 75.
16. MonuArora, Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources, *Food Chemistry* 111 (2008) 811–815.
17. Araya Curutchet M. C., Determinación De Metales Pesados En Los Sedimentos De Los Ríos Elqui Y Cachapoal, (2006), Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.
18. Valcho D. Zheljzkov, Ekaterina A. Jeliazkova, Natasha Kovacheva, AnatoliDzhurmanski, Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter, *Environmental and Experimental Botany* 64 (2008) 207–216.
19. Moshood N. Tijani, Contamination of shallow groundwater system and soil– plant transfer of trace metals under amended irrigated fields, *Agricultural water management xxx* (2008) xxx–xxx.
20. Reglero M.M., Monsalve-González L., Taggart M.A., Mateo R., Transfer of metals to plants and red deer in an old lead mining area in Spain, *Science Of The Total Environment* 406 (2008) 287–297.