

**METALS POLLUTION IN EL LIMON LAGOON, CHIAPAS, MEXICO**

**[CONTAMINACIÓN POR METALES EN LA LAGUNA EL LIMÓN,  
CHIAPAS, MÉXICO]**

**María Teresa Leal-Ascencio<sup>1\*</sup>, Saúl Miranda<sup>2</sup>, Elena María Otazo Sánchez<sup>3</sup>,  
Francisco Prieto-García<sup>3</sup> and Alberto José Gordillo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Jiutepec,  
Morelos, México. Email:tereal@tlaloc.imta.mx*

<sup>2</sup>*Centro Estatal de Estudios del Clima. 1° de septiembre No 1, Col. Isleta, Xalapa,  
Veracruz, México.*

<sup>3</sup>*Centro de Investigaciones Químicas. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería,  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo,  
km. 4,5, Pachuca, Hidalgo, México.*

*\*Corresponding author*

**RESUMEN**

La laguna El Limón, en el municipio de Reforma, Chiapas, México, ha presentado mortandad masiva de peces, lo que llevó a realizar un estudio más profundo que determinara el grado de contaminación de la laguna, así como las causas posibles de los eventos. Los resultados muestran que en los sedimentos de la laguna las concentraciones promedio de Zn, Ni, Cr, Cd y Cu rebasan los límites recomendados en Canadá y Estados Unidos para evitar la aparición de efectos biológicos nocivos en especies acuáticas. Es de especial mención la acumulación de Zn, que presenta una concentración máxima de 1360 mg/kg, presumiblemente asociada al uso de este metal como catalizador en una planta procesadora de gas. Si bien las descargas industriales que vierten a la laguna cumplen con los estándares establecidos en México para metales, esto no ha sido suficiente para evitar su acumulación en los sedimentos, lo cual demuestra que las normas existentes para las descargas de aguas residual industrial deben aumentar sus restricciones y tomar en cuenta el tipo de cuerpo receptor al que vierten. En el caso del uso de agua residual o contaminada para riego, la acumulación puede darse en los suelos agrícolas, pasando eventualmente a los cultivos, lo que tampoco es deseable.

**Palabras clave:** Metales; sedimentos; vertidos; acumulación; zinc.

**INTRODUCCIÓN**

Una consecuencia de la industrialización es la generación de efluentes industriales y compuestos tóxicos indeseables cuya descarga a cuerpos de agua es la principal fuente de su contaminación. La industria del petróleo es uno de los siete giros industriales más contaminantes. Los sedimentos en

**SUMMARY**

“El Limón” Lagoon belongs to the Reforma municipality, in the State of Chiapas, Mexico. Massive fish killings have occurred in the lagoon, demanding a deeper study to determine the pollution state of the lagoon, as well as the possible cause of the deaths. Results show that the average concentrations of Zn, Ni, Cr, Cd and Cu in the lagoon are beyond the recommended limits in Canada and USA to avoid deleterious biological effects in aquatic species. Special mention has to be done for the case of Zn, with a maximum concentration of 1360 mg/kg, presumably associated with the use of this metal as a catalyst in a natural gas plant close to the lagoon. Although the industrial discharges comply with the Mexican Standards for metals in wastewaters, this has not been enough to avoid the accumulation of metals in sediments, which is a demonstration of failure of the Mexican Wastewater Standards that should be more restrictive especially in the case of lagoons with a low water recharge, taking into account the type of water body where the wastewater is loading. In the case of the application of this water for agriculture, the metals can accumulate in soils, with unwanted effects on crops.

**Keywords:** Metals; sediments; wastewater; accumulation; zinc.

lagos y lagunas se convierten en sumideros de diversas sustancias, mismas que pueden continuamente ser reintroducidas a la columna de agua y ser transferidas en la cadena trófica (Chen y White, 2004).

Los sedimentos contaminados representan un riesgo para la biota ya que algunas de las sustancias presentes pueden ser bioacumuladas en diversas especies

acuáticas. En lagos y lagunas, las fuentes más importantes de contaminantes son las descargas industriales y municipales. Si bien las primeras son en general más tóxicas, las segundas las exceden en cantidad, por lo que puede ocurrir que sean más dañinas que las primeras (White y Rasmussen, 1998). Otra fuente que puede ser importante localmente son las descargas difusas de origen agrícola, así como la deposición de partículas de fuentes fijas atmosféricas (Hoffman *et al.*, 1984; Tsukatani *et al.*, 2002). Entre las sustancias cancerígenas descargadas con mayor frecuencia a aguas superficiales el 42% son metales, destacando el Ni, Cr, Pb, As, Co y Be (EPA, 2003).

Los sedimentos en sistemas acuáticos, tanto de agua dulce como marina, son matrices complejas dinámicas compuestas de materia orgánica en diversos estados de descomposición, material particulado que varía en tamaño y composición química, así como material inorgánico de origen biológico y antropogénico. Numerosos contaminantes acuáticos están asociados a depósitos finos ricos en materia orgánica: la manera en como dichos contaminantes interactúan con los depósitos, determinan su destino ambiental, biodisponibilidad y su toxicidad (Chen y White, 2004).

La laguna El Limón pertenece al sistema lagunar San Miguel, junto con las lagunas Del Río y Enmedio. El

sistema es alimentado por los escurrimientos de lomeríos y por medio de arroyos que convergen, incluyendo a: El Limón, ciénega El Limón, El Trapiche y El Mayacal que vierten en forma natural por medio del arroyo Boca Limón hacia el Río Mezcalapa o Viejo Grijalva. La laguna consta de dos brazos unidos por un canal de comunicación, que aunque estrecho en estiaje, permite el flujo en ambas direcciones. En temporada de estiaje tiene profundidades máximas de 150 cm en el centro de la laguna y seis fosas con profundidad de 80 a 100 cm, con sedimentos a una profundidad de 50 cm (Leal y Miranda, 2006). El intercambio de agua entre las lagunas es muy limitado debido a que tras severas inundaciones en la zona, se abrió artificialmente una boca adicional del sistema lagunar hacia el río Viejo Mezcalapa, que produjo una disminución del nivel del agua de dos metros.

En la laguna El Limón se descarga agua residual de diversas instalaciones industriales, ver figura 1. Esto ha impactado la calidad del agua de la laguna, con evidencia de pérdida de productividad en el desarrollo de especies (flora y fauna propia de la laguna) y eventos de mortandad masiva de peces. El objetivo de este trabajo fue evaluar la contaminación presente en la laguna El Limón, determinada a través de la presencia de metales en sedimentos.

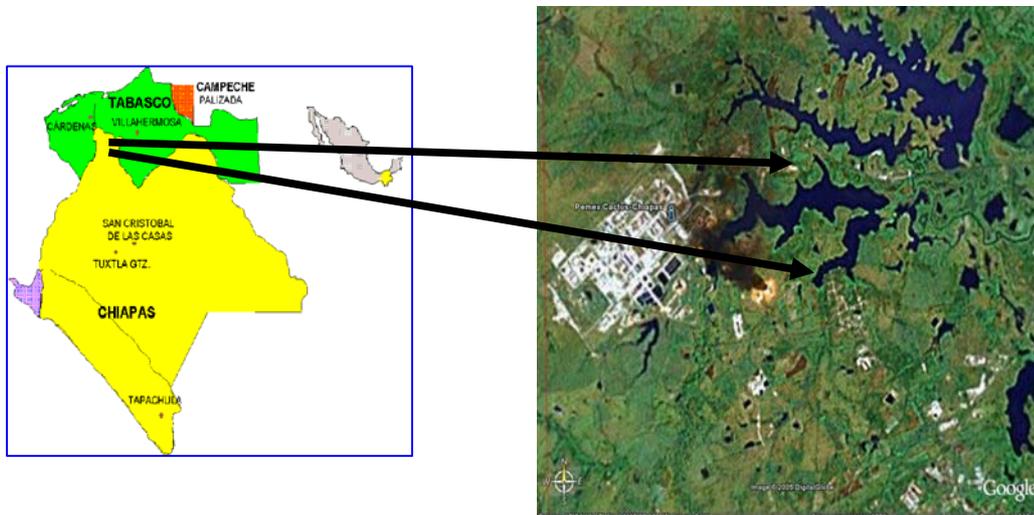


Figura 1. Zona de estudio: Laguna El Limón, Chiapas, México

## MATERIALES Y MÉTODOS

La laguna se localiza a  $17^{\circ}53'52''N$  y  $93^{\circ}10'53''W$ , con una superficie de 34 hectáreas. Se realizaron tres muestreos sucesivos en un lapso de diez días en siete sitios de muestreo en la laguna. Como parte de la evaluación se midieron gastos de cinco descargas y un

afluente natural, batimetría de la laguna, magnitud y dirección de viento, temperatura, humedad relativa del aire, radiación solar y precipitación *in situ*.

Las muestras de sedimento fueron tomadas con draga tipo Eckman para determinar su concentración de cadmio, cromo, plomo, níquel, cobre, zinc, arsénico y

mercurio mediante espectrofotometría de absorción atómica por flama en el caso de los primeros y por generador de hidruros para los dos últimos. Para ello, los sedimentos fueron homogeneizados y liofilizados, tras lo cual se tomaron 0.5 g de sedimento seco, se digirieron con 2 mL de ácido nítrico concentrado (Baker) en horno de microondas y en el sobrenadante se determinó su contenido de los metales mencionados. Los análisis fueron realizados bajo los procedimientos de control de calidad estándar en un laboratorio acreditado con triplicados, controles (blancos), material estándar y adicionado, el proceso de análisis se realizó bajo los parámetros establecidos en las cartas control. En las descargas se midieron *in situ* pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto y materia flotante, asimismo, se tomaron muestras para la determinación de los parámetros que indica la NOM-001-SEMARNAT-1996 en muestreos de 24 horas (resultados no mostrados).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A la laguna El Limón llegan descargas de agua residual de cuatro instalaciones de procesamiento de gas, entre las que destaca un complejo procesador de gas, así como un afluente y una población con menos de 2500 habitantes. Las descargas del complejo procesador de gas representan el 86 % de las entradas de agua a la laguna con 13,510 m<sup>3</sup>/día, seguida por el afluente Arroyo El Limón que aporta 1,676 m<sup>3</sup>/día. Las descargas de agua residual municipal vierten 435 m<sup>3</sup>/día lo que corresponde a 2.78% del caudal total.

Los gastos de cada entrada de agua a la laguna se muestran en la Figura 2 como porcentaje del total de entradas.

Los resultados de metales en sedimentos mostraron que los metales Zn, Ni, Cd, Cr y Cu rebasan los límites recomendados en Canadá y Estados Unidos para evitar la aparición de efectos biológicos en especies acuáticas (NOAA, 1999; Persaud *et al.*, 1993); para el caso de Cr, Zn y Ni, rebasan también el límite recomendado para la aparición de efectos biológicos severos (Tabla 1). En México no se cuenta con normas que establezcan límites máximos permisibles para metales en sedimentos, por lo que no fue posible compararlos con límites acordes a las características ambientales de la laguna.

Según los resultados obtenidos, el Cu presenta una acumulación que rebasa el límite de apreciación de efectos biológicos en 38%. Los metales Cr, Cd, Ni y Zn presentan una acumulación mayor y rebasan el límite de apreciación de efectos biológicos en promedio 70, 75, 158 y 380 %, respectivamente. El Cr y el Zn se han concentrado más que los demás metales, de tal manera que rebasan el límite recomendado para evitar la aparición de efectos biológicos severos. Estos problemas se observan mejor en la Figura 3. El As y el Pb presentan concentraciones que no representan un peligro para las especies acuáticas presentes, de acuerdo a los límites establecidos en Canadá y los Estados Unidos (NOAA, 1999; Persaud *et al.*, 1993).

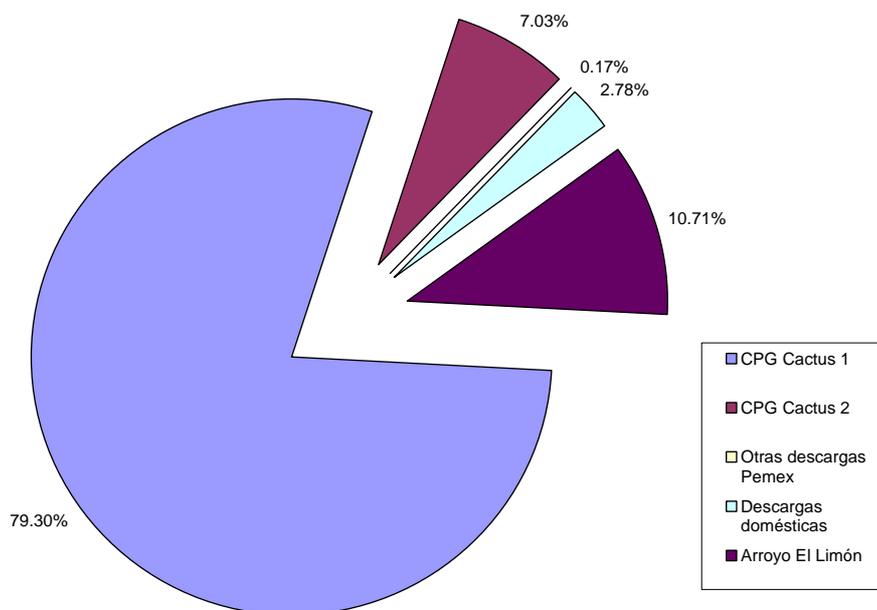


Figura 2. Proporción de caudales que alimentan la laguna

Tabla 1. Comparativo de concentración detectada de metales en sedimento y límites recomendados (mg/kg).

Concentración	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Límite de efectos biológicos mínimos <sup>1</sup>	6	0.6	26	16	16	31	120
Límite de apreciación de efectos biológicos <sup>2</sup>	8	1.2	81	34	21	47	150
Límite de efectos biológicos severos de Ontario <sup>2</sup>	33	10	110	110	75	250	820
Concentración mínima en laguna El Limón	< 1	< 1	46	21	48	15	34
Concentración máxima en laguna El Limón	< 1	3	199	70	57	35	1360
Concentración promedio en laguna El Limón	< 1	2	138	47	54	30	722

<sup>1</sup>NOAA, 1999

<sup>2</sup>Persaud *et al.*, 1993

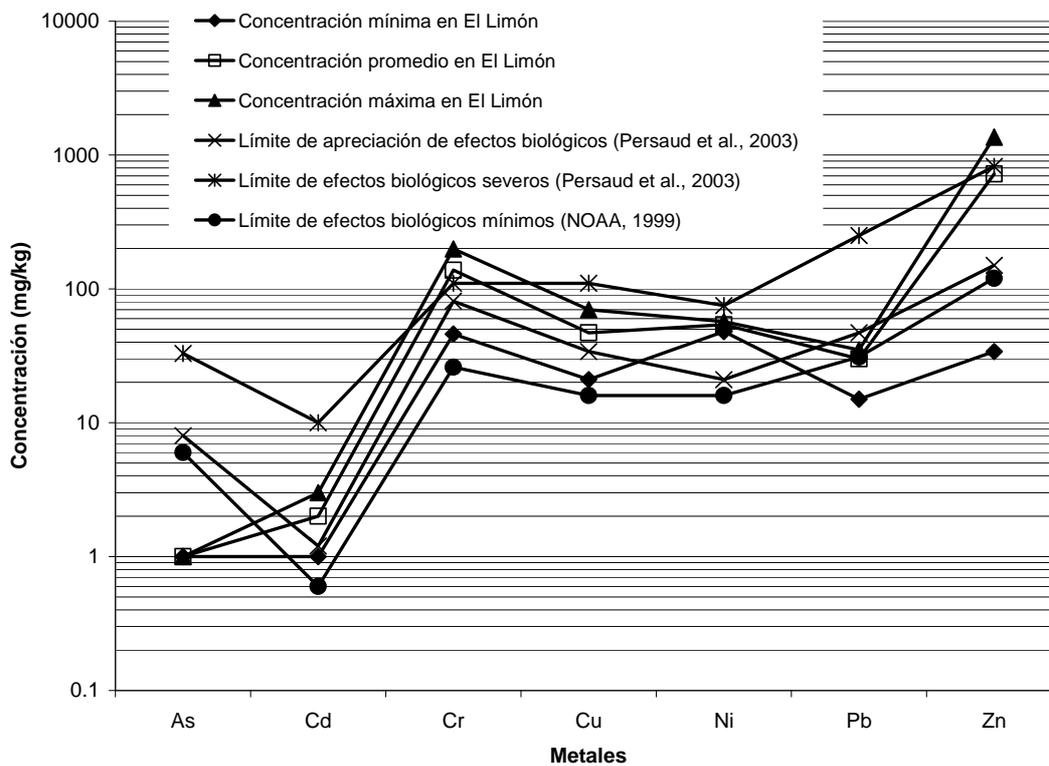


Figura 3. Metales encontrados en la laguna El Limón y límites

En cuanto a las descargas de agua residual que vierten a la laguna y el afluente Arroyo El Limón, no se detectaron concentraciones que rebasaran ninguno de los límites establecidos en la NOM-001-SEMARANT-1996, que establece los límites máximos permisibles para descargas de agua residual a cuerpos receptores en México. En la descarga del complejo procesador de

gas se detectaron concentraciones promedio de 0.06 mg/L de níquel y de 0.23 mg/L de zinc. Los metales Cd, Cr, Cu y Pb no fueron detectados en las descargas ni en el afluente, a un límite de cuantificación de 0.01 mg/L. Se realizaron análisis de nitrógeno y fósforo totales, DBO<sub>5</sub>, grasas y aceites, sólidos suspendidos

totales y cianuros, mismos que no se presentan por no ser relevantes para los hallazgos que aquí se presentan.

Los sedimentos pueden actuar como un sumidero de metales, donde pueden concentrarse de 3 a 5 órdenes de magnitud con respecto a la concentración en el agua (Bryan y Langston, 1992). La contaminación por metales en sistemas acuáticos se refleja preponderantemente en los sedimentos, las macrofitas y los organismos bénticos, más que en concentraciones elevadas en agua (Dallinger *et al.*, 1987; Chapman, 1993; Szalinska *et al.*, 2007). Lo anterior se confirma en la laguna El Limón, donde los metales no son detectables en agua, a una límite de cuantificación de 0.01 mg/L, (datos no presentados). Los metales presentes se unen al material de los sedimentos, especialmente a la materia orgánica. Cuando se encuentran unidos a la misma, pueden retornar al medio acuático al disociarse como iones libres y participar en reacciones de intercambio catiónico con minerales y organismos vivos, dependiendo de las condiciones de pH, fuerza iónica, temperatura y, en algunos casos, por presencia de ciertos cationes o aniones específicos. Los metales representan un riesgo de salud para los organismos acuáticos. La toxicidad de los metales en los organismos acuáticos ha sido muy estudiada, siendo el zooplancton, en especial los crustáceos, el más sensibles a este tipo de contaminación (Mance, 1987). Tanto los microorganismos como ciertas plantas y animales acuáticos concentran los metales. Sin embargo, no todos los metales se comportan de la misma manera; según estudios previos el Pb, Zn, Cu y Cd no se magnifican a lo largo de la cadena alimenticia (ATSDR, 2002). De los metales encontrados en El Limón, el Pb es el menos móvil, seguido por el Cu. Por el contrario, el Zn y el Cd son considerablemente móviles, toda vez que tienen tendencia a disociarse de moléculas orgánicas e inorgánicas en las que se encuentran y forman especies químicas solubles que permanecen estables a pH neutro o ligeramente alcalino (Gale *et al.*, 2004).

Se ha discutido si elementos física y químicamente similares actúan como antagonistas uno al otro. Al respecto, Aravind y Prasad (2005) demostraron que al menos entre el Zn y el Cd no hay competencia. Los sistemas vegetales expuestos a altas concentraciones de Zn y Cd simultáneamente, presentan menor toxicidad neta al Cd, gracias a la presencia de Zn. En plantas acuáticas que concentran metales, la toxicidad no se hace manifiesta, aunque la concentración a la que se encuentre el Cd sea de alta toxicidad. El efecto protector del Zn continúa mientras haya suficiente concentración de manera disponible. En otros metales como el Pb y el Cd se observa un efecto multiplicador o sinergia, así como efectos aditivos entre Pb, Hg, Cu, Zn y Cd en la biota acuática (Irwin *et al.*, 1997). La

bioacumulación de metales a lo largo de la cadena trófica ocurre en función de la disponibilidad del metal (que varía a su vez con el pH), la ingesta y la cinética toxicológica. La toxicidad del Zn se incrementa con elevadas temperaturas, bajo pH (menor a 7) y baja alcalinidad (Weatherley *et al.*, 1988).

Si bien la presencia coincidente de diversos metales debe estar ejerciendo un efecto dañino sobre los organismos acuáticos de la laguna, no es posible definir con precisión cuáles serían estos efectos, ni tampoco si son los causantes de las muertes masivas de peces. La ausencia de referencias en la literatura sobre toxicidad combinada, cuando se trata de varios metales y sus posibles efectos sinérgicos, muestra que es un tema que requiere de vastas investigaciones.

En cuanto a la fuente u origen de estos metales, si bien no es posible detectarlos en las descargas de agua residual, se ha discutido el hecho de que los metales se concentran en sedimentos hasta en 5 órdenes de magnitud, con respecto a la concentración en agua. En complejos procesadores de gas se utilizan catalizadores con Ni y Zn para reducir el contenido de compuestos de S en el gas natural en el proceso Superclaus (Eow, 2004). Con respecto a la presencia de la alta concentración de Cr presente en el sedimento, el mismo ha sido utilizado también como catalizador para la reducción de los óxidos de S presentes en el gas natural, aunque se desconoce si fue aplicado como tal en las instalaciones que vierten agua residual a la laguna El Limón (Li, 2008). Se hace hincapié en que si bien las concentraciones de metales en las descargas de agua cumplen con la normatividad en la materia, los resultados de este estudio indican que los metales se han acumulado en sedimentos, con consecuencias desconocidas para los organismos acuáticos de la laguna.

Es posible que a lo largo del tiempo, se hayan vertido mayores concentraciones de estos metales a la laguna los cuales se han acumulado en los sedimentos, aunque asimismo ello es agravado por la baja renovación del agua, que el citado cuerpo de agua presenta debido a la mencionada pérdida de volumen. Inversamente, es probable que fenómenos naturales como inundaciones en sistemas acuáticos de circulación restringida, permitan eventualmente una mayor movilidad de los metales, por lo cual es factible que en el mediano plazo se reduzca el nivel de contaminación detectado, mediante la exportación de sedimentos, como se ha comprobado en diversos estudios en lagunas altamente contaminadas (Sperling, 2005).

## CONCLUSIONES

En el cuerpo de agua bajo estudio resulta evidente que los límites máximos permisibles establecidos por la

autoridad del país no han sido de utilidad para proteger la salud ambiental del ecosistema acuático que alberga. En este caso, lo anterior puede deberse a la baja capacidad de renovación del agua del sistema, asociado al hecho demostrado de que los metales se concentran en los sedimentos, aún cuando las concentraciones en agua son bajas. Esto conlleva a considerar que los límites máximos de metales en descargas deberían ser diferentes cuando los cuerpos receptores son de circulación restringida y que no deberían establecerse límites máximos permisibles de aplicación uniforme en todo el país. Por otra parte, este trabajo demuestra asimismo que deben tomarse medidas de protección adicionales para aquellos sistemas acuáticos cuya principal fuente de agua son descargas industriales. En este contexto, se vislumbra la posibilidad de considerar el establecimiento de condiciones particulares de descarga o la clasificación y declaratoria de cuerpos de agua. La falta de normas para metales en sedimentos es una tarea pendiente en México y otros países de la región, mismos que tomen en cuenta aspectos prioritarios sobre las condiciones geográficas y ambientales de los cuerpos de agua de la región.

Cuando se presenten metales en sedimentos en cuerpos de agua de circulación restringida, es necesario que se efectúe un seguimiento cercano a la concentración de los mismos a lo largo de la cadena trófica y que se demuestre la inocuidad de las especies comestibles, cuando sean aprovechadas. En el caso del uso de agua residual para riego, la acumulación que se ha demostrado en este sistema puede ocurrir en los suelos agrícolas, afectando eventualmente a los cultivos, lo que tampoco es deseable.

## REFERENCIAS

- Aravind, P., Prasad, M. 2005. Cadmium-Zinc interactions in a hydroponics system using *Ceratophyllum demersum* L.: adaptive ecophysiology, biochemistry and molecular toxicity. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17: 3-20.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2002. Effect of Metals in aquatic organisms: <http://www.atsdr.cdc.gov>. Consultado en: 17/11/2007.
- Bryan, G.W., Langston, W.J. 1992. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom Estuaries: a review. *Environmental Pollution* 76: 89-131.
- Chapman, D. 1992. *Water Quality Assessments: A guide to the use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. UNESCO, WHO, UNEP. Chapman & Hall. Inglaterra.
- Chen, G., White, P.A. 2004. The mutagenic hazards of aquatic sediments: a review. *Mutagenic Research*. 567: 151- 225.
- Dallinger, R., Prosi, F., Segner, H., Back, H. 1987. Contaminated food and uptake of heavy metals by rainbow trout (*Salmo gairdneri*): A field study. *Oecologia* 73: 91-98.
- Environmental Protection Agency. 2003. Descargas totales de agua residual superficial en los Estados Unidos, por sector industrial. <http://www.epa.gov/triexplorer>. Consultado en: 12/11/2008.
- Eow, J.S. 2004. Recovery of sulfur from sour acid gas: A review of the technology. *Environmental Progress*. 21: 143-162.
- Gale, N.L., Adams, C., Wixson, B., Loftin, K., Huang, Y. 2004. Lead, zinc, copper, and cadmium in fish and sediments from the Big River and Flat River Creek of Missouri's Old Lead Belt. *Environmental Geochemistry and Health* 26: 37-49.
- Hoffman, E.J., Mills, G.L., Latimer, J.S., Quinn, J.G. 1984. Urban runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons to coastal waters. *Environmental Science and Technology*. 18: 580-587.
- Irwin, R., Mouwerick, M., Stevens, L., Seese, M., Basham, W. 1997. *Environmental Contaminants Encyclopedia: Lead, Cadmium, Zinc, Mercury and Nickel*. National Park Service.
- Leal, M.T., Miranda, S. 2006. Clasificación de la laguna El Limón. Informe Técnico. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 267 pp y 2 anexos.
- Li, H. 2008. Selective Catalytic Oxidation of hydrogen sulfide from syngas. Tesis de maestría. Universidad de Pittsburgh. 88 pp.
- Mance, G. 1987. *Pollution threat of heavy metals in aquatic environments*. Elsevier Applied Science Publishers. Estados Unidos de América.
- National Oceanic Atmospheric Administration. 1999. *Sediment Quality Guidelines*.

- NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles en descargas de agua residual.
- Persaud, D., Jaagumagi, R., Hayton, A. 1993 Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Queen's Printer for Ontario. Canadá. 24 pp.
- Sperling, E. V. 2005. Restoration of Tropical Urban Lakes: Case Study- Lake Pampulha, Brazil. En Reddy Restoration and management of Tropical Eutrophic Lakes. Science Publisher. Gran Bretaña. 405-422 pp.
- Szalinska, E., Haffner, G.D., Drouillard, K.G. 2007. Metals in the sediments of the Huron-Erie Corridor in North America: Factors regulating metal distribution and mobilization. Lake & Reservoirs: Research and Management. 12: 217-236.
- Tsukatani, H., Tanaka, Y., Sera, N. Shimizu, N. Kitamori, S., Inoue, N. 2002. Mutagenic activity in roadside soils. Journal of Toxicological Sciences. 27: 183-189.
- Weatherley, A.H., Lake, P.S. Stahal, P.L. 1988. Zinc pollution and ecology of the environment. En: Zinc in the Environment P. 1 Ecological Cycling. Nriagu J. John Wiley. Estados Unidos de América. 337-417 pp.
- White, P.A., Rasmussen, J.B. 1998. The genotoxic hazards of domestic wastes in surface waters. Mutation Research. 410: 223-236.

*Submitted February 09, 2009 – Accepted March 23, 2009*  
*Revised received March 30, 2009*