



La Represa de Inambari – Escenario de Mercurio (Hg)

Documento de Trabajo # 16

Autor: Bruce Forsberg

Fecha: Junio 2013

La dinámica del mercurio se bien conocida en la región amazónica y es importante mencionar que la presencia del mercurio en los sistemas fluviales proviene tanto de fuentes naturales como antropogénicas. La mayor parte de este mercurio es derivado de los suelos de las terrazas no inundables del llano amazónico, zonas excepcionalmente ricas en mercurio, principalmente de origen natural (Roulet et al. 1998; Zeidemann 1999; Fostier

1999; Lechler et al. 2000; Fadini and Jardim 2001). Otra parte del mercurio se deriva por la deposición directa de la atmósfera y se conoce que a nivel global este aporte está en proporción de 1:2 con relación a los aportes de las fuentes naturales y antropogénicas (Mason et al. 2004). La liberación de mercurio gaseoso y líquido por la minería aurífera es la principal fuente antropogénica de mercurio en la cuenca amazónica, y en las zonas mineras es la principal fuente de aporte a los sistemas fluviales. Es importante considerar también que erosión generada por la minería aurífera puede aumentar el aporte de mercurio a los sistemas fluviales ya que este metal está unido a los suelos removidos, y en algunas zonas de intensa extracción la erosión puede considerarse como la principal fuente de mercurio a los ríos y quebradas (Temler et al. 2006).

En la cuenca amazónica, el mercurio generalmente está presente en muy bajas concentraciones (1-10 ng/L), inclusive en zonas muy contaminadas, y se presenta principalmente bajo la forma de sales inorgánicas de mercurio, Hg (II). En aguas con bajos niveles de pH, altas concentraciones de carbono orgánico disuelto (COD) y bajas concentraciones de oxígeno disuelto -todos estos elementos comúnmente encontrados en humedales fluviales e interfluviales el mercurio Hg (II) se puede transformar en metil mercurio, una forma de mercurio extremadamente tóxica que tiende a bio-acumularse y bio-magnificarse a través de la cadena trófica acuática. Se ha demostrado que los niveles de mercurio en peces depredadores no migratorios, como los huasacos o fasacos (género *Hoplias*) y en otras especies de consumo humano, tienen una relación inversa con el nivel de pH y una relación directa tanto con el COD y con la presencia de humedales en la cuenca amazónica (Silva-Forsberg et al. 1990; Belger and Forsberg 2006).

La dinámica del mercurio en los reservorios está bien estudiada en las regiones templadas en el hemisferio norte, mientras que en los sistemas tropicales aún existen muy pocos estudios. La vegetación terrestre luego de ser inundada por el reservorio muere y e inmediatamente comienza a descomponerse, lo cual incrementa de manera significativa los niveles de COD y disminuye los niveles de pH y oxígeno disuelto, exactamente lo contrario de lo que naturalmente sucedía en el río original. Estas condiciones generalmente dan lugar a un

drástico aumento del metil mercurio, el cual va a acumularse gradualmente en la cadena trófica acuática (Bodaly et al. 1997; St. Louis et al. 2004). Los niveles de mercurio tienden a aumentar en los peces depredadores durante los primeros 10 años después del represamiento, luego vuelven a disminuir gradualmente a los niveles pre-represa (Bodaly et al. 1997). La evolución histórica de la contaminación por mercurio sólo se conoce a partir de un reservorio amazónico, el reservorio Balbina cerca de la ciudad de Manaus en Brasil (Forsberg, datos no publicados; Weisser 2001). Los niveles de mercurio en los tucunarés (género *Cichla*), un pez depredador ubicado en el nivel más alto de la cadena trófica del reservorio, se incrementaron durante los primeros 10 años y luego disminuyeron, siguiendo una tendencia similar a la descrita para los sistemas del hemisferio norte (Figura 1a).

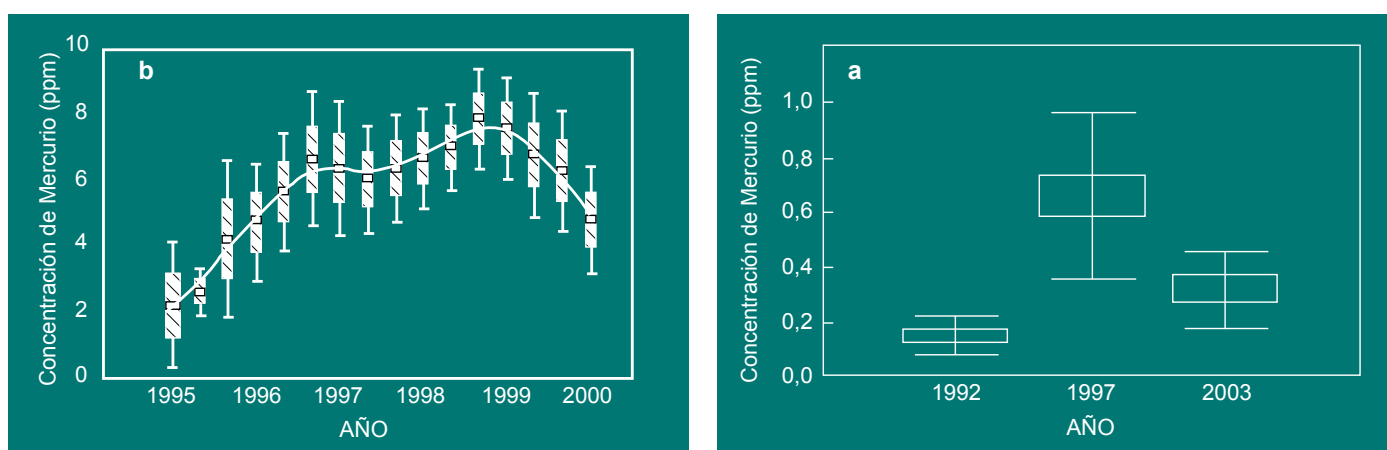


Figura 1.a) Variación histórica de los niveles promedio de mercurio en pez depredador (*Cichla* spp) (Fuente: Forsberg, datos no publicados) y Figura 1.b) cabello humano en el reservorio Balbina (Wiesser et al. 2001).

A menudo se establecen importantes comunidades de pescadores cerca de los reservorios amazónicos para aprovechar de la producción pesquera, significativamente incrementada luego del represamiento. Dado que la principal fuente de proteína animal de estas comunidades pesqueras es el reservorio, los niveles de mercurio en estas poblaciones humanas tienden a elevarse, y a disminuir, de acuerdo a la disponibilidad del recurso pesquero. Esta tendencia se refleja claramente en los niveles de mercurio encontrados en cabello humano en mujeres en las comunidades pesqueras del reservorio Balbina (Figura 1b).

La minería aurífera, actualmente bastante extendida aguas arriba y abajo del lugar propuesto para la represa Inambari, parece representar la principal fuente de mercurio en el río Inambari y en muchos de sus tributarios. La mayoría de estas actividades se desarrollan en la llanura inundable del río Inambari y estas áreas probablemente están altamente contaminadas con mercurio en ambas de sus formas, el mercurio elemental $Hg(0)$ y el mercurio iónico $Hg(II)$. La intensa erosión que existe en las zonas mineras, a causa de la remoción de suelos de la llanura inundable y no inundable (terra firme) probablemente también aporta con mercurio a los sistemas fluviales de la cuenca Inambari, considerando que estos suelos también contienen mercurio de manera natural (ver Figura 2). Actualmente existen muy pocos ambientes de la cuenca del Inambari con condiciones favorables para la metilación del mercurio. Las planicies adyacentes al Inambari se inundan por períodos muy breves lo cual no permite que exista suficiente nivel de agua para una estratificación térmica, por tanto no se generan las condiciones anóxicas necesarias para la metilación del mercurio. Los niveles de COD son bastante bajos y el pH es demasiado alto a lo largo del canal del Inambari como para promover

la metilación. A pesar de los altos niveles de contaminación de mercurio encontrados en la región, es poco probable que éstos hayan afectado significativamente la cadena trófica acuática. De hecho, los niveles de mercurio encontrados en huasacos (*Hoplias spp.*) muestreados y reportados por varios autores de las partes bajas del río Inambari (Deza-Arroyo 1997; INRENA-INAP 2003) son mucho menores a los reportados en los sistemas fluviales en Amazonía Central (Belger y Forsberg 2006).

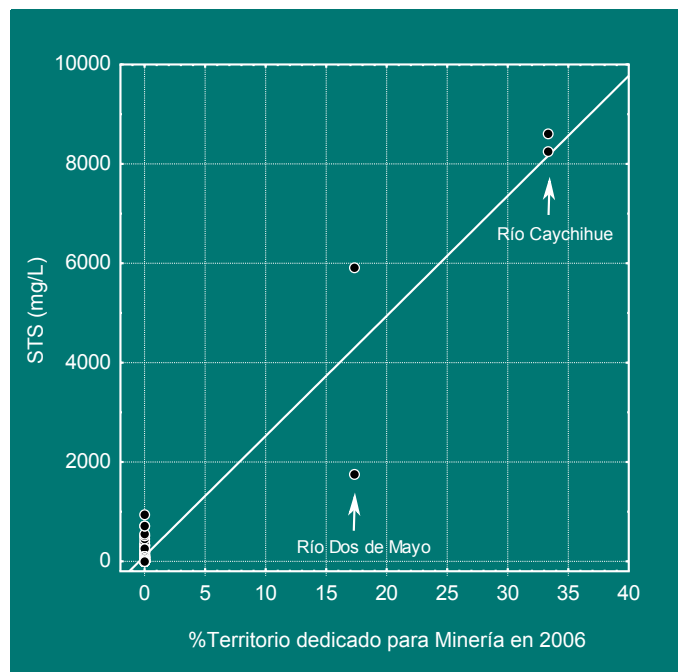


Figura 2. Influencia de las actividades mineras (% territorio dedicado a la minería en 2006) en las concentraciones totales de sedimentos en suspensión (STS) en los tributarios de la cuenca Inambari.

Luego del represamiento se espera un cambio drástico en las condiciones del río Inambari, generándose un escenario con una vegetación terrestre inundada que iniciará un proceso de descomposición en el fondo, lo cual aumentará de manera significativa los niveles de COD y una disminución en los niveles de pH y oxígeno disuelto. Ocurrirá una estratificación térmica en la columna de agua del reservorio que aislará las zonas más profundas y creando una capa inferior desprovista de oxígeno (hipolimnion anóxico), condiciones ideales para la metilación del mercurio. Se espera un drástico aumento en las concentraciones de metil mercurio a medida que el mercurio inorgánico ya existente en grandes cantidades en las zonas mineras, ahora inundadas, se vaya metilando. El metil mercurio generado en este proceso se acumula gradualmente en la cadena trófica del reservorio, y se espera que los niveles de mercurio en los peces depredadores y las especies de consumo que se distribuyen alrededor de la represa se incrementen gradualmente en los primeros 10 años luego del represamiento, y poco a poco estos niveles disminuirán a los niveles pre- reservorio. Si los niveles de mercurio en los peces y en el cabello humano alcanzaran los niveles encontrados en el reservorio Balbina (Figuras 1 a y b), esta situación representará un riesgo muy alto para la salud humana, especialmente para mujeres embarazadas, ya que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda como límite superior para estudios de cabello valores de 1-6 ppm.

LITERATURA CITADA

- Deza-Arroyo, Nilton E., 1997. Mercury accumulation in fish from Madre de Dios, a goldmining area in the Amazon basin, Peru. Oregon State University Tesis de disertation Ms.Sc.39 pp.
- Belger, L., Forsberg, B.R. 2006. Factors controlling mercury levels in two predatory fish species in the Negro river basin, Brazilian Amazon. *Science of the Total Environment* 367: 451-459.
- Bodaly, R. A.; St.Louis, V. L.; Paterson, M. J.; Fudge, R. J. P.; Hall, B. D. 1996. Rosenberg, D. M.; Rudd, J. W. M. In *Mercury and it effects on the environment and biology*; Sigel, A., Sigel H., Eds.; Marcel Dekker: New York, pp 259-287.
- Fadini P.S., Jardim W.F. 2001. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by Naturally occurring mercury? *Sci Total Environ* 275(1-3):71-82
- Fostier, A.H., Oliveira, S.M.B., Guimarães, J.R.D., Forti, M.C., Melfi, A.J., Boulet, R., Favaro, D.I.T., Krug, F.J. 1999. Mercury accumulation in natural forested Amazonian soils. In: *Proceedings of the Fifth International Conference on Mercury as a Global Pollutant*. Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 23-28 May: p 557.
- INRENA-IANP, 2003. Plan maestro 2004-2008, Reserva Nacional Tambopata 1997.
- Lechler, P.J., Miller, J.R., Lacerda, L.D., Vinson, D., Bonzongo, J.C., Lyons, W.B., Warwick, J.J., 2000. Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River Basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichment? *Sci.Total Environ.* 26: 87-96.
- Malm, O., Castro, M.B., Bastos, W.R., Branches, F.J.P.,Guimarães, J.R.D., Zuffo, C.E., Pfeiffer, W.C. 1995. An assessment of mercury pollution in different goldmining areas, Amazon Brazil. *Sci. Total Environ.* 175: 127-140.
- Malm, O., Pfeiffer, W.C., Souza, C.M.M., Reuther, R. 1990. Mercury pollution due to gold mining the Madeira River Basin, Brazil. *Ambio* 19: 11-15.
- Mason, R.P., Fitzgerald, W.F., Morel, F.M.M. 1994. The biogeochemical cycling of elemental mercury - anthropogenic influences. *Geochim Cosmochim Acta* 58: 3191-3198
- Roulet, M., Lucotte, M., Saint-Aubin, A., Tran, S., Rhéault, I., Farella, N., Silva, E.J., Dezencourt, J., Sousa Passos, C.J., Guimarães, J.R.D., Mergler, D., Amorim, M., 1998. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajos River Valley, Para State, Brazil. *The Science of the Total Environment* 223: 1-24.

- Silva-Forsberg, M.C., Forsberg, B.R., Zeidemann, V.K., 1999. Mercury contamination in humans linked to river chemistry in the Amazon Basin. *Ambio* 28: 519-521.
- St. Louis, V. et al 2006. The Rise and Fall of Mercury Methylation in an Experimental Reservoir. *Environ. Sci. Technol.* 2004, 38, 1348-1358
- K. Telmer et al. 2006. The source and fate of sediment and mercury in the Tapajo's River, Para', Brazilian Amazon: Ground- and space-based evidence *Journal of Environmental Management* 81: 101–113
- Weisser, C.W. 2001. Investigation of the history of mercury contamination in the Balbina Reservoir, Amazon, Brazil. M. S. Thesis, Universität Konstanz, Konstanz, Alemanha
- Zeidemann, V.K. 1998. A geoquímica de mercúrio em solos da bacia do rio Negro e sua influência no ciclo regional do mercúrio. Dissertação de Mestrado, Curso de Ecologia, INPA/UA.

Se sugiere citar:

Forsberg, B. 2013. “La Represa de Inambari – Escenario de Mercurio (Hg)”. Documento de Trabajo #16. Wildlife Conservation Society, Lima, Perú.