

## PARTE III

### **Bioacumulación y biomagnificación del mercurio en los peces de la cuenca Iténez**

Amara Pérez Rivera    Marc Pouilly

#### **III.1- Introducción**

Los peces son buenos bioindicadores de contaminación acuática, debido a que se encuentran en contacto permanente con el agua, están presentes en todos los niveles tróficos de consumidores gracias a sus diversas adaptaciones alimenticias y sirven como base alimenticia para muchas poblaciones humanas. Por ello han sido ampliamente usados para determinar el estado de contaminación por mercurio de los cuerpos de agua de todo el mundo y en particular de la Amazonía (Maurice-Jourgoin *et al.* 1987, Glander *et al.* 1988, Barbosa *et al.* 1990, Da Silva *et al.* 1991, entre otros).

En un medio acuático contaminado por mercurio los peces experimentan un proceso de bioacumulación que corresponde al incremento de la concentración de mercurio en sus tejidos a lo largo de su vida (Deza 1988), por lo que se genera una relación entre la edad, inercial a través del tamaño o peso, con las tasas de mercurio de los individuos. Esta relación se ajusta a diversos patrones. En peces amazónicos se han propuesto cuatro patrones principales de bioacumulación (Figura III.1, Roulet 1988): lineal positivo (a), escalonado positivo (b), neutro (c) y escalonado negativo (d), aunque existen otros estudios en los que se reportan patrones como el lineal negativo (Maurice-Jourgoin 1987, Da Silva *et al.* 1991) y curvilíneo negativo o positivo (López 1991). Los patrones de bioacumulación negativos contradicen al concepto de bioacumulación, sin embargo se cree que este tipo de patrón podría estar determinado por cambios en la dieta de los peces relacionados con su estado de maduración, a los cambios en la disponibilidad de alimento determinados por los ciclos de inundación (Dorea *et al.* 1988), a los cambios de lugar de vida por migración.

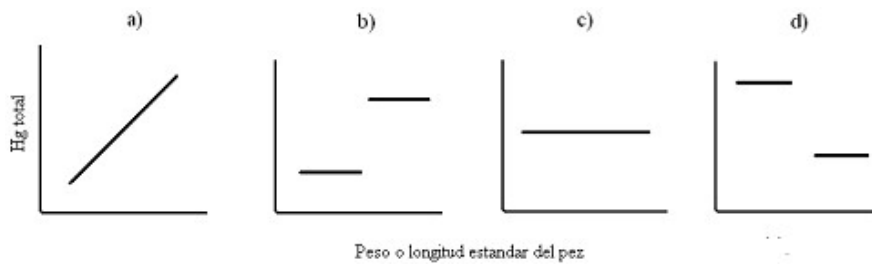


Figura III 1- Modelos de bioacumulación del mercurio total en peces de la Amazonía (Roulet, 2001).

El hábito alimenticio y correlativamente el nivel trófico de las especies son, además de las concentraciones presentes en el medio, unos de los principales actores determinantes en las concentraciones de mercurio del individuo. El proceso de biomagnificación del mercurio predice un incremento en la concentración en los tejidos de especies de un mismo nivel trófico al siguiente superior (Lacerda *et al.*, 1998; Barbosa *et al.*, 2000). Los peces con hábitos alimenticios carnívoros presentan mayores concentraciones de mercurio en relación a los peces con hábitos no carnívoros (Roschio *et al.*, 2000; Leibel *et al.*, 2000). Recientemente se ha incorporado la evaluación de las tasas del nitrógeno isotópico estable ( $\delta^{15}N$ ) para determinar de forma semicuantitativa los niveles tróficos (Arona Rasmussen, 1997) y se ha visto que en algunos casos este elemento correlaciona con las concentraciones de mercurio en peces (Dovles *et al.*, 2000; Da Silva *et al.*, 2000), lo que delata la influencia de la posición trófica sobre las concentraciones de mercurio.

Este trabajo buscó revelar el estado de contaminación por mercurio de la cuenca del Iténez a través de la estimación de las concentraciones en mercurio de seis especies de peces de diferentes niveles tróficos, y del estudio comparativo de los procesos de bioacumulación y biomagnificación entre una zona de referencia natural (sector de Bella Vista) y el río Iténez.

### III.2- Métodos

Para determinar las concentraciones de mercurio de los peces de la cuenca del río Iténez se realizaron dos campañas de muestreo, al principio de la época seca (junio) y a final de la misma (septiembre), tanto en el río Iténez como en la zona de referencia (Figura 3, Pagina 10). En total, se muestrearon peces en 10 lagunas o bahías cercanas a los ríos, de los cuales se encontraron a lo largo de 100 m del río Iténez y fueron agrupados en Alto Iténez, Remanso, Mategua, Versalles y Bajo Iténez (Figura 3, Pagina 10). Los restantes cuatro puntos de muestreo se encuentran en la zona de referencia natural y corresponden a lagunas cercanas a los dos ríos Blanco y San Martín, cuyas calidades de aguas difieren entre sí principalmente por la carga sedimentaria (parte II).

El arte de pesca implementado fue el de redes agalleras en todos los puntos de muestreo en las poblaciones de Remanso y Bella Vista, además se muestrearon peces capturados por los pescadores. Una vez colectados los peces, se midió la longitud estándar y peso de cada individuo y se tomó una muestra de músculo dorsal que se almacenó de forma individual en frascos de polímero de etileno-propileno (PEPP) y se conservó a menos de 4°C para evitar su degradación.

En total se obtuvo 100 muestras de músculo dorsal de peces pertenecientes a 10 especies representativas de 5 niveles tróficos: piscívoros generalistas, piscívoros estrictos, invertívoros, herbívoros, zooplancívoros y detritívoros-algúvoros. Se determinó la concentración de mercurio total y la tasa de nitrógeno isotópico estándar ( $\delta^{15}N$ ) sobre un total de 100 individuos pertenecientes a 10 especies y repartidas en los diferentes sitios del estudio. Un estudio más preciso de patrones de

cuantificar la posición trófica de cada individuo, así como el largo de la cadena alimenticia en cada sector. Este último parámetro está estimado por la diferencia entre las tasas de  $\delta^{15}N$  de las dos especies con mayor y menor tasa de  $\delta^{15}N$  (Vander Zanden *et al.* )

Para determinar los patrones de bioacumulación del mercurio, las concentraciones de mercurio obtenidas para los peces fueron relacionada con el tamaño (Largo Estándar, LS) de los individuos por especie, río y sector (Iténez, Blanco y San Martín). Así mismo se relacionó las concentraciones de mercurio con las tasas de  $\delta^{15}N$  transformadas por logaritmo neperiano para obtener relaciones lineares. En caso de una relación lineal positiva y significativa entre la tasa de mercurio y el LS o la tasa de  $\delta^{15}N$ , y para obtener concentraciones de mercurio comparables e independientes del nivel trófico y del tamaño de los individuos, se realizó la corrección de éstas a partir de una ecuación de la línea, establecida por un análisis de regresión múltiple

$$g_c = \alpha LS + \gamma \delta + b_0$$

Donde  $g_c$  es la concentración de mercurio corregida para la longitud estándar y el  $\delta^{15}N$  de cada individuo de cada población,  $\alpha$  es la constante asociada a la longitud estándar,  $\gamma$  es la constante asociada al  $\delta^{15}N$  y  $b_0$  es el actor de origen.

La determinación de las diferencias entre las tasas de mercurio en peces de los cuatro sectores del río Iténez y los ríos de la zona de referencia se realizó sobre las tasas de mercurio corregidas para todas las especies que presentaron relaciones lineares, así como las tasas de mercurio cuantificadas en el laboratorio para aquellas especies que presentaron relaciones neutras. La determinación de las diferencias entre sectores y ríos se basó en

- ) los patrones de bioacumulación ( $g_c$  vs LS) y la relación de las concentraciones de mercurio y  $\delta^{15}N$  de las seis especies más abundantes y con mayor distribución
- ) el actor de biomagnificación, el largo de cadena y el actor de contaminación
- ) el análisis de las concentraciones de mercurio en especies de consumo

### III.3- Resultados

Las concentraciones de mercurio medidas en peces de la cuenca Iténez varían desde  $0.05 \mu g g^{-1}$  en un individuo de piau del campo (*S. Fasciatus*, herbívoro) de la zona de referencia, hasta  $0.15 \mu g g^{-1}$  en un individuo de corvina (*P. squamosissimus*, piscívoro) de la zona de Remanso (río Iténez cerca de la mina de la serranía de San Simón), siendo este el único individuo que sobrepasa el límite de toxicidad promedio de  $0.1 \mu g g^{-1}$  (MS). Sin embargo, el  $\delta^{15}N$  de los peces de diferentes sectores

del río Iténez, sobrepasan el nivel de toxicidad potencial de  $0.1 \text{ mg g}^{-1}$  (EPA) para especies que presentan altas concentraciones de mercurio son los surubis (*P. fasciatus*) capturados por los pescadores de la zona de Remanso, los bentones (*H. malabaricus*) también del sector de Remanso y las piranas rojas (*P. nattereri*) del sector de Versalles (Tabla III). Es decir que las concentraciones de mercurio en varias de las especies comerciales o al menos altamente consumidas por los comunitarios del río Iténez presentan niveles de mercurio elevados y mayores a los niveles de las mismas especies traídas del sector de referencia en Bella Vista. Estas concentraciones son influenciadas por el tamaño (efecto de bioacumulación positiva) y los niveles de mercurio de los individuos.

Tabla III 1- Número de individuos, rango de mercurio y de tamaño de las 21 especies de peces capturados en la cuenca del Iténez.

Dieta/ Especie	Nombre común	Río	Sector	Mercurio ( $\text{mg g}^{-1}$ )		Longitud (LS)		
				n	media	Min-Ma	media	Min-Ma
<b>Detritívoros</b>								
<i>Curimatella cf. alburna</i>	Llorona	Blanco	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Versalles	1	-	1	-	1
			San Martín	1	-	1	-	1
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	Llorona	Iténez	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Cajío Iténez	1	-	1	-	1
			Versalles	1	-	1	-	1
<i>Potamorhina latior</i>	Llorona	San Martín	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Cajío Iténez	1	-	1	-	1
<i>Psectrogaster essequibensis</i>	Llorona	Iténez	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Cajío Iténez	1	-	1	-	1
			Versalles	1	-	1	-	1
			Alto Iténez	1	-	1	-	1
<i>Psectrogaster rutiloides</i>	Llorona	San Martín	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Cajío Iténez	1	-	1	-	1
			Versalles	1	-	1	-	1
<b>Herbívoros</b>								
<i>Colossoma macropomum</i>	Pacu	Blanco	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Cajío Iténez	1	-	1	-	1
<i>Schizodon fasciatus</i>	Piao del campo	Blanco	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Versalles	1	-	1	-	1
			Mategua	1	-	1	-	1
			Alto Iténez	1	-	1	-	1
			Remanso	1	-	1	-	1
			San Martín	1	-	1	-	1
<b>Invertívoros</b>								
<i>Bryconops sp.</i>	Sardina	Blanco	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Cajío Iténez	1	-	1	-	1
<i>Triportheus angulatus</i>	Sardina	Iténez	Versalles	1	-	1	-	1
			Mategua	1	-	1	-	1
			Alto Iténez	1	-	1	-	1
			Remanso	1	-	1	-	1
			San Martín	1	-	1	-	1
<b>Zooplanctívoros</b>								
<i>Hypophthalmus edentatus</i>	Blanquillo	Blanco	Bella Vista	1	-	1	-	1
			Cajío Iténez	1	-	1	-	1
<i>Hypophthalmus marginatus</i>	Blanquillo	Blanco	San Martín	1	-	1	-	1

Tabla III. 1 (continuación)

Dieta/ Especie	Nombre común	Río	Sector	Hg		LS		n	media
				media	Min-Ma	media	Min-Ma		
<b>Piscívoros estrictos</b>									
<i>Acestrorhynchus altus</i>	Pez cachorro	Blanco Iténez	Vella Vista	-	-	-	-		
			Versalles	-	-	-	-		
			Mategua	-	-	-	-		
			Alto Iténez	-	-	-	-		
			Remanso	-	-	-	-		
<i>Acestrorhynchus microlepis</i>	Pez cachorro	San Martín	Vella Vista	-	-	-	-		
			Vella Vista	-	-	-	-		
<i>Ageneiosus brevifilis</i>	Loca de vieja	Iténez	Versalles	-	-	-	-		
<i>Cichla pleiozona</i>	Cucunaré	Iténez	Versalles	-	-	-	-		
			Mategua	-	-	-	-		
			Remanso	-	-	-	-		
<i>Hoplias malabaricus</i>	Denton	Blanco Iténez	Vella Vista	-	-	-	-		
			Vella Vista	-	-	-	-		
			Versalles	-	-	-	-		
			Mategua	-	-	-	-		
			Remanso	-	-	-	-		
<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>	General	San Martín Iténez	Vella Vista	-	-	-	-		
			Mategua	-	-	-	-		
			Remanso	-	-	-	-		
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Survina	Blanco Iténez	Vella Vista	-	-	-	-		
			Versalles	-	-	-	-		
			Remanso	-	-	-	-		
<b>Piscívoros generalistas</b>									
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	Blanco Iténez	Vella Vista	-	-	-	-		
			Versalles	-	-	-	-		
			Mategua	-	-	-	-		
			Alto Iténez	-	-	-	-		
			Remanso	-	-	-	-		
<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Pintado	San Martín Iténez	Vella Vista	-	-	-	-		
<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirana roja	Blanco Iténez	Vella Vista	-	-	-	-		
			Vella Vista	-	-	-	-		
			Vella Vista	-	-	-	-		
			Vella Vista	-	-	-	-		
			Vella Vista	-	-	-	-		
			Vella Vista	-	-	-	-		
			Vella Vista	-	-	-	-		

n = número de individuos, Hg = mercurio en peso fresco, LS: Longitud estándar y  $^{15}\text{N}$ : Tasa de nitrógeno isotópico 15

Los patrones de bioacumulación son un indicador de la influencia del tamaño sobre la acumulación del mercurio en los tejidos de los organismos. En este estudio se analizaron en seis especies de diferentes niveles tróficos: detritívoro, herbívoro, insectívoro y piscívoro. Las especies presentaron dos tipos de relación entre Hg y LS: lineal positiva (la tasa de mercurio aumenta correlativamente con el tamaño de los individuos) y neutra (ausencia de relación entre el tamaño y la tasa de mercurio de los individuos) (Figura III.1).

El patrón neutro se presentó en todas las poblaciones de las especies llorona (*Curimatella cf. alburna*) y Piao del campo (*Schizodon fasciatus*). Estas dos especies fueron clasificadas por Pouilly *et al.* (1998)

como detritívoro-alguívoro (la primera) y herbívoro (la segunda). En general, los peces amazónicos con este tipo de dietas no suelen presentar patrones lineares (Zarósa et al. 2000, Da Silva et al. 2001).

Al menos una de las poblaciones de pirana roja (*Pygocentrus nattereri*), bichón (*Hoplias malabaricus*), pez cachorro (*Acestrorhynchus altus*) y sardina (*Triportheus angulatus*) presentaron un patrón linear positivo, las dos primeras son utilizadas como alimento por los pobladores ribereños. Este tipo de patrón es altamente preocupante cuando se detecta en especies comerciales o de consumo debido a que los individuos de mayor tamaño son seleccionados como alimento. Pouilly et al. (1997) determinaron que en el río Mamoré la pirana roja se alimenta de peces y algo de vegetación (piscívoro generalista), el pez cachorro y el bichón se alimentan exclusivamente de peces (piscívoros estrictos) y la sardina consume macroinvertebrados (invertívoro). En la cuenca Amazónica, las especies con hábitos alimenticios carnívoros generalmente presentan patrones lineares positivos (Uryu et al. 2000, Zarósa et al. 2000, Da Silva et al. 2001).

La incidencia de los dos patrones de bioacumulación (positivo y neutro) fueron variables en relación al río. En el río Iténez se presentaron tres especies con patrón linear positivo y tres con patrón neutro, en el río Blanco cuatro especies presentan patrón linear positivo y dos especies un patrón neutro, mientras que en el río San Martín todas las especies se ajustaron al patrón neutro. La presencia de patrones linear positivos de bioacumulación en los sistemas podría interpretarse como un resultado de las concentraciones de mercurio en el agua. A mayor concentración de mercurio en el agua mayor probabilidad de generar patrones positivos de bioacumulación y en especial en las especies carnívoras de nivel trófico más alto. El río San Martín presenta menor concentración de mercurio (cfr. Parte II) y todas las especies presentan patrones neutros de bioacumulación por lo que a ningún nivel trófico la cantidad de mercurio disponible es suficientemente alta como para generar un enriquecimiento de sus tejidos. Por el contrario en los ríos Blanco y Iténez, las cantidades de mercurio disponible son altas como para generar una acumulación en los músculos, favoreciendo la aparición de patrones positivos en las especies carnívoras de más alto nivel (como el bichón, *H. malabaricus*, el pez cachorro, *A. altus* y la pirana roja *P. nattereri* en los ríos Iténez y Blanco). Luego si la concentración de mercurio en el agua es todavía más alta, los patrones positivos aparecen en las especies de nivel trófico intermedio (como la sardina, *T. angulatus* en el río Blanco), dejando como en el caso del río Iténez, las especies de nivel trófico inferior libre de bioacumulación (como la llorona *C. cf. Alburna* y el piao del campo, *S. fasciatus*). Si este resultado se confirmara en otros estudios, la aparición de patrones de bioacumulación a los diferentes niveles tróficos se volvería una herramienta de estimación del nivel de contaminación. En muchos artículos estas conclusiones están limitadas por el tamaño de la muestra (es decir el número de individuos estudiados). Mientras más individuos se analizan mayor es la probabilidad que el patrón de bioacumulación observado no cambie (Zarósa et al. 2000), sin embargo hasta la fecha ningún estudio pudo destacar un número mínimo de individuos a incluir en los análisis. Los patrones presentados incluyen un número de individuos (entre 5 y 10) que es superior al número de individuos estudiados en otros casos.

En las especies que presentaron patrón lineal positivo se realizó la corrección de las tasas de mercurio para realizar comparaciones de éstas entre el río Iténez y los dos ríos de la zona de referencia (Figura III 2)

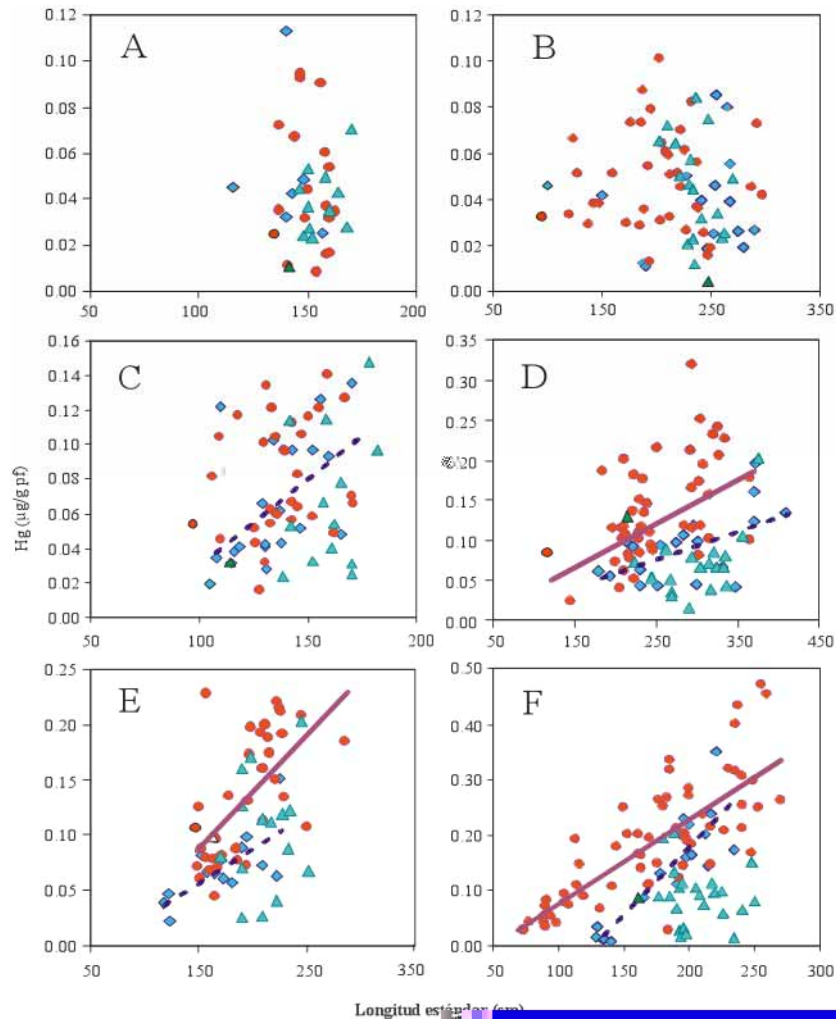


Figura III 2- Patrones de bioacumulación en peces de los ríos Iténez (círculos), Blanco (rombos) y San Martín (triángulos). A) *Curimatella cf. alburna*, B) *Piado del campo (Schizodon fasciatus)*, C) *Sardina (Triportheus angulatus)*, D) *bentón (Hoplias malabaricus)*, E) *Pez cachorro (Acestorhynchus altus)* y F) *Piraña roja (Pygocentrus nattereri)*.

La cantidad relativa de isótopo estable de nitrógeno ( $\delta^{15}N$ ) es un indicador de la posición trófica de los individuos y de la estructura trófica de una comunidad (en especial del largo de la cadena alimenticia). El isótopo  $\delta^{15}N$  es, como ya se dijo, es decir que su concentración incrementa de un nivel trófico inferior a otro superior (Vander Zanden y Fetzner). Para los peces amazónicos, según Winemiller (1991) estiman que la tasa de incremento de  $\delta^{15}N$  entre dos niveles tróficos sucesivos, esa tasa es conocida como el factor de enriquecimiento del nitrógeno.



La relación entre las tasas de  $\delta^{15}N$  y las concentraciones de mercurio es un indicador de la influencia del nivel trófico, de una población o de un individuo, sobre el mercurio en los organismos vivos (Flores *et al.* 2003). En las seis especies estudiadas se determinó que predomina la ausencia de relación entre estas dos variables y este tipo de relación es recurrentemente reportada en peces (Flores *et al.* 2003, Da Silva *et al.* 2004) y sugiere que las diferencias de posición trófica entre individuos de una misma población no es lo suficiente alta como para explicar las diferencias en las tasas de mercurio. Sin embargo, la población de pirana roja (*P. nattereri*) del río San Martín y la población de lentón (*H. malabaricus*) del río Iténez presentan una relación linear positiva entre estas variables (Figura III). En el río Apajós (Brasil), se ha reportado que la pirana roja presenta un patrón linear positivo (Da Silva *et al.* 2004), lo que podría encontrarse relacionado con los hábitos omnívoros y el oportunismo alimenticio de la especie, que podría determinar un cambio en las fuentes de alimento que consume a medida que crece. En nuestro estudio sólo se presentó esta relación en la población del río San Martín. En el caso del lentón es la primera vez que se reporta este tipo de patrón y no es posible indagar acerca de sus causas.

Como en el caso de los patrones de bioacumulación (log vs tamaño), el número de individuos incorporados en el análisis puede ser determinante para la detección de patrones significativos y robustos. Pérez (2003) utilizando un menor número de individuos (10 individuos, submuestro de los datos presentados en este informe), observó una relación positiva para esta especie en la población del río San Martín, que no se observa con la inclusión de individuos adicionales. Esto indica que se necesita un enfoque de investigación sobre el número de individuos mínimo a incluir para asegurar que los patrones observados sean robustos y no artefactos. También estimamos que la implementación de test de permutación (con rotación del patrón observado a otros generados aleatoriamente) podría ser de utilidad para asegurar las pertinencias de los patrones observados.

En las especies que presentaron relación linear positiva entre el mercurio y el  $\delta^{15}N$  se realizó correcciones de las tasas de mercurio para eliminar el efecto de los cambios en la posición trófica de la especie.

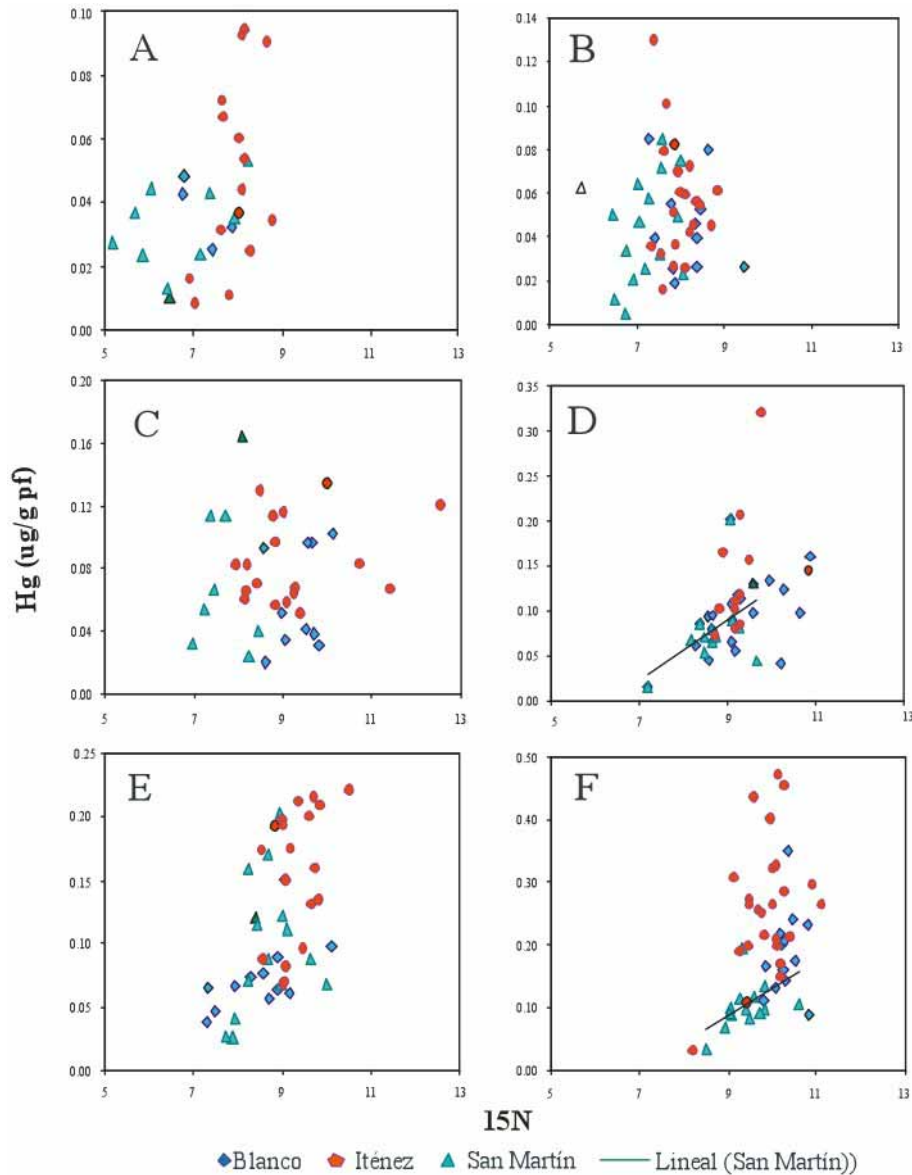


Figura III 3- Relación entre  $\delta^{15}N$  y concentración de mercurio en peces de los ríos Iténez (círculos), Blanco (rombos) y San Martín (triángulos). A) *Curimatella cf. alburna*, B) Piao del campo (*Schizodon fasciatus*), C) Sardina (*Triportheus angulatus*), D) bentón (*Hoplias malabaricus*), E) Pez cachorro (*Acestrorhynchus altus*) y F) Piraña roja (*Pygocentrus nattereri*).

En general y para las seis especies estudiadas, los peces del río Iténez presentan mayores concentraciones de mercurio que los dos ríos de la zona de referencia natural (Figura III 3). Las menores concentraciones de mercurio varían entre los ríos de referencia, lo que indica que es posible que la alimentación de estas especies en estos dos ríos sea diferente en relación a la disponibilidad de alimento en cada uno. En el caso del Iténez, las mayores concentraciones pueden estar relacionadas con el impacto antrópico que se ejerce en la zona (agricultura, ganadería y minería, entre otros).

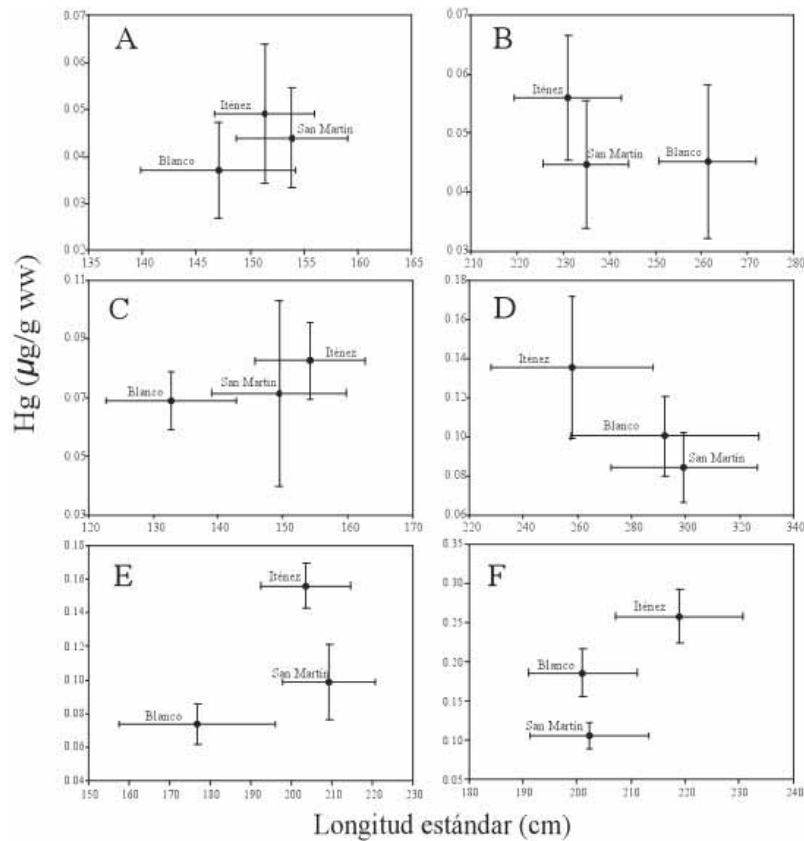


Figura III 4- Comparación de las tasas de mercurio corregido de seis especies en la cuenca del río Iténez A) *Curimatella cf. alburna*, B) *Piado del campo (Schizodon fasciatus)*, C) *Sardina (Triportheus angulatus)*, D) *bentón (Hoplias malabaricus)*, E) *Pez cachorro (Acestrotrynchus altus)* y F) *Piraña roja (Pygocentrus nattereri)*. Las líneas horizontales representan la variabilidad del error estándar de la longitud estándar y las líneas verticales representan la variabilidad del 1.96 de error estándar de las tasas de mercurio corregidas.

La biomagnificación del mercurio es el incremento de las concentraciones de mercurio entre niveles tróficos (Stiling *et al.*, 1998). En este estudio, fue determinada a partir de las medias de mercurio, corregido por la longitud estándar y las tasas de crecimiento, de los seis gremios tróficos en los cuales se incluyen las especies estudiadas.

La tendencia de biomagnificación muestra un incremento entre niveles tróficos de las tasas de mercurio con alguna variabilidad en el orden de aparición de los gremios tróficos entre el río Iténez y los dos ríos de referencia (Figura III 4). Esta variabilidad posiblemente esté relacionada con la composición específica y el número de individuos por especie de los gremios tróficos en cada río. Sin embargo, los peces con hábitos alimenticios no carnívoros se ubican en la parte baja de la relación, mientras que los carnívoros están en la zona superior. En general este tipo de tendencia es altamente aceptada en los estudios de mercurio en peces Amazónicos y del mundo (Poisocho *et al.*, 1998; Leibel *et al.*, 1999; astillos y Vidone *et al.*, 2000).

Los peces zooplanctívoros presentan concentraciones de mercurio altamente variables entre los tres ríos, este grupo está formado por tres individuos en el Iténez y seis individuos en la zona de referencia (dos en el río Blanco y cuatro en el San Martín), por lo que sus concentraciones pueden no ser representativas del estado de contaminación de estos peces en los diferentes ríos

En general la tendencia de biomagnificación encontrada en el río Iténez se caracteriza por presentar valores de mercurio más elevados que en los ríos de referencia, y en el río San Martín estas concentraciones son inferiores para todos los gremios tróficos



Figura III 5- Biomagnificación del mercurio en relación a seis gremios tróficos de peces (según Pouilly et al. 2004. A) río Iténez, B) río Blanco y C) río San Martín. La concentración de mercurio de los peces zooplanctívoros ha sido determinada a un reducido número de individuos por lo que los valores pueden no ser representativos del gremio.

El factor de biomagnificación del mercurio se calculó como la diferencia de promedio de tasa de mercurio entre el primer (detritívoro) y último (piscívoro) gremio trófico de cada río. El río Iténez presentó un valor de 1.5, mientras que los ríos de referencia presentaron valores inferiores a 1.0 (0.8 en el río Blanco y 0.7 en el río San Martín)

Este es una hipótesis que plantea que la biomagnificación del mercurio es dependiente del largo de cadena, prediciendo que mientras más larga es la cadena, mayor es la cantidad de mercurio que los individuos de los gremios tróficos superiores asimilan por vía oral. El largo de cadena es menor en el río Iténez (3.5) que en los ríos Blanco y San Martín (4.5 en el Blanco y 5.0 en el San Martín). Por lo tanto el río Iténez debería tener un factor de biomagnificación menor a los dos otros ríos, lo que es contradictorio con las tendencias observadas. Consideramos en este caso, que la relación entre los valores del factor de biomagnificación y largo de cadena es un buen indicador de la

contaminación y la denominamos factor de contaminación. El río Iténez presenta un factor de contaminación significativamente superior ( ) a los encontrados en los dos ríos de la zona de referencia ( en el río Blanco y en el río San Martín)

Estos resultados permiten inferir que la actividad antrópica (agrícola, ganadera y minera principalmente) que aportan altas tasas de sedimentos a las aguas de este río (parte II), determinan un incremento en las concentraciones de mercurio de los peces. Esto puede ser corroborado por los resultados encontrados en la zona de referencia en la que los dos ríos que se consideraron difieren principalmente en sus cargas sedimentarias, siendo el río con mayor carga de sedimentos (río Blanco) el que presenta peces con mayores concentraciones de mercurio. En otros trabajos comparativos entre ríos de diferentes calidades de agua en la cuenca Amazónica, se ha encontrado que la actividad antrópica determina un incremento en las concentraciones de mercurio en peces (Erving y Malm ). En otros casos, aun que no realizan trabajos comparativos que relacionan las actividades antrópicas con las concentraciones de mercurio en peces, se ha encontrado que bajo condiciones naturales los ríos con bajas cargas sedimentarias suelen presentar comunidades de peces con menor tasa de mercurio (Maurice Bourgoin y Uiroga , Lopez )

Se estudiaron ocho especies comerciales, de las cuales el surubí (*Pseudoplatystoma fasciatum*), tucunaré (*Cichla monoculus*), la pirana roja (*Pygocentrus nattereri*) y el bentón (*Hoplias malabaricus*), las cuales se encuentran representadas en los diferentes sectores del Iténez: el paui (*Colossoma macropomum*), el general (*Phractocephalus hemiliopterus*), la corvina (*Plagioscion squamosissimus*) y el pintado/chanuina (*Pseudoplatystoma tigrinum*) solo fueron capturadas en una de las zonas estudiadas (Iténez o referencia). Este análisis se basó sobre las concentraciones de mercurio cuantificadas en el laboratorio y en los casos que fue necesario corregidas por el tamaño (LS) y los cambios de posición trófica ( ) (Tabla III en anexo)

Las tasas de mercurio de todos los sectores del río Iténez se encuentran por encima de la zona de referencia, siendo significativa en los casos del bentón y la pirana roja (Figura III 5). Las tasas de mercurio entre sectores del Iténez en general disminuyen desde el sector del Alto Iténez hacia Remanso, Mategua y Versalles, a excepción de la población de tucunaré en Versalles que presenta tasas de mercurio elevadas. Esto puede deberse al reducido número de individuos (cinco) y queda entonces por confirmar. El área de influencia de la contaminación por el mercurio empleado en la amalgamación y los sedimentos removidos en las minas auríferas puede alcanzar 100 m (Roulet ). Aun que este impacto no ha sido probado en peces, nuestros resultados podrían interpretarse, por lo menos parcialmente como un indicio del efecto de la mina de San Simón sobre las concentraciones de mercurio en los peces. Siguiendo esta área de influencia, la mina de San Simón podría tener efectos hasta la población de Mategua sin embargo en la zona de Versalles se encuentran tasas de mercurio incluso superiores a las encontradas en la zona de Mategua, lo que

sugiere que en este caso existen otros actores como la entrada de sedimentos desde las cuencas brasileñas degradadas por la deforestación pueden estar jugando un rol en la concentración de mercurio en peces

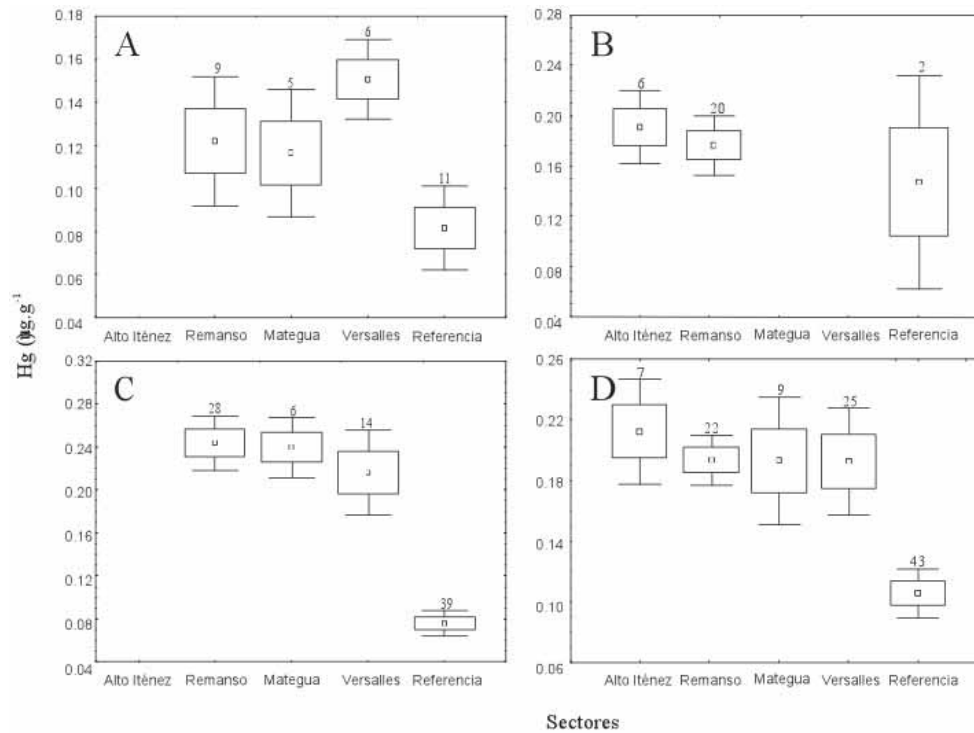


Figura III 6- Concentraciones de mercurio para cuatro especies de peces comerciales en diferentes sectores del río Iténez (Alto Iténez, Remanso, Mategua y Versalles) y de una zona de referencia natural (Bella Vista). A) tucunaré (*Cichla monoculus*), B) surubí (*Pseudoplatystoma fasciatum*) C) bentón (*Hoplias malabaricus*) y D) piraña roja (*Pygocentrus nattereri*). Los cuadrados pequeños representan la media, los cuadrados más grandes representan la desviación estándar y las líneas representan 1.96 del error estándar. El número de individuos está indicado encima de cada cuadrado. Las concentraciones de mercurio de la zona de referencia se encuentran por debajo de las concentraciones de los diferentes sectores del Iténez.

La bioacumulación del mercurio en relación al tamaño de los individuos es preocupante debido que implica que mientras más grandes son los organismos mayor es su tasa de mercurio, y éstos son los más apreciados tanto para el consumo como para la comercialización. Otro actor de preocupación es la ubicación trófica de estas especies. La mayor parte de las especies comerciales son de hábitos alimenticios carnívoros (Pouilly *et al.* ), a excepción del paui, lo que determina que sus tasas de mercurio se encuentren por encima de las demás especies omnívoras o piscívoras. Estos dos actores tamaño y ubicación trófica de estas especies influyen en las tasas de mercurio que las poblaciones humanas asimilan, dado que el mercurio contenido en el alimento es de fácil asimilación para los seres humanos. Por lo tanto se puede concluir que, aunque los valores encontrados en las poblaciones del Iténez se encuentran por debajo del límite de riesgo (Parte I), las poblaciones ribereñas del río Iténez están expuestas a contaminación por mercurio y que ésta debería ser monitoreada.

### III.4- Conclusiones

Los patrones de bioacumulación en todas las poblaciones estudiadas son de tipo neutro y lineal positivo. El patrón neutro implica que el tamaño de los organismos no determina el contenido de mercurio en peces, y el patrón lineal positivo determina un incremento en las tasas de mercurio de los organismos a medida que estos son más grandes. La influencia de la posición trófica de los organismos sobre las tasas de mercurio es evidente en aquellas especies que presentan una relación lineal entre las tasas de bioacumulación y las concentraciones de mercurio en una población. Las relaciones lineales de bioacumulación, así como entre el tamaño y el mercurio son más frecuentes en especies de hábitos alimenticios carnívoros. Sin embargo en las poblaciones que presentan relaciones lineares es necesario definir su efecto para poder realizar comparaciones entre poblaciones de diferentes especies o diversas procedencias.

Las concentraciones de mercurio en cualquier población de peces del río Iténez son superiores a las encontradas en la zona de referencia, lo cual no se encuentra determinado por la biomagnificación ni el largo de cadena alimenticia. La tendencia de la biomagnificación es similar y positiva para los tres ríos y muestra que las especies con hábitos alimenticios no carnívoros presentan menores tasas de mercurio que aquellas que consumen algún tipo de proteína animal en su dieta. Sin embargo el factor de biomagnificación del mercurio entre especie de bajo y alto nivel trófico, es mayor en el río Iténez en relación a los otros dos ríos en la zona de referencia. Por otro lado, el largo de cadena alimenticia (determinado por la diferencia de biomagnificación entre especie de bajo y alto nivel trófico) es inferior en el río Iténez en relación a los ríos Blanco y San Martín. La hipótesis es que a menor largo de cadena la biomagnificación del mercurio debería ser inferior, lo no se observa en los ríos estudiados, sugiriendo la contaminación del río Iténez. Las altas tasas de mercurio encontradas en los peces del río Iténez no son naturales y probablemente están influenciadas por la actividad antrópica, principalmente la deorestación y la minería que impactan esa cuenca. Para cuantificar esa contaminación propusimos un factor de contaminación que relaciona la biomagnificación del mercurio con el largo de cadena.

Las especies comerciales presentan altas tasas de mercurio, debido a que en general son de hábitos alimenticios carnívoros lo que las coloca en la cima de la cadena alimenticia y por lo tanto en la parte superior de la tendencia de biomagnificación. Además los individuos de mayor tamaño son apreciados para el consumo lo que se encuentra influenciado por los patrones de bioacumulación lineares positivos propios de especies carnívoras, reportado en este estudio para varias de las poblaciones de especies comerciales (a excepción de las poblaciones del río San Martín).

Por otro lado, las tasas de mercurio en peces a lo largo del río Iténez, mostró una tendencia a disminuir las concentraciones de mercurio a medida que los puntos de muestreo se alejan de la mina (alto Iténez), sin embargo estos aparentes valores elevados en la zona del alto Iténez no pueden ser simplemente atribuidos al efecto de la mina San Simón debido a que en la zona de Versalles (alejada

de la supuesta área de influencia de una mina de            m) las concentraciones de mercurio, en algunos casos son mayores a las de la zona de Mategua que aún se encuentra bajo la zona de influencia. Por lo que en el Iténez las tasas de mercurio en peces podrían encontrarse altamente influenciadas por la agricultura y ganadería, además de la mina de la serranía San Simón



### III.5- Bibliografía

- Castos W R, De Almeida R, Dorea J Barbosa A Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madera (Amazon) *Ecotoxicology* 13 (1) - 13
- Barbosa A, De Souza J, Dórea J, Jardim W F, Fadini P S Mercury biomagnification in tropical lacustrine water, Rio Negro, Brazil *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 32 (1) - 13
- Doischo A A P, Enshel D, Barbosa A Mercury exposure through fish consumption by the upper Madeira river population, Brazil - *ecosystem health* ( ) -
- Dorles J, Apte S, Maher W A, Azei M, Smith R Bioaccumulation and biomagnification of mercury in Lake Murray, Papua New Guinea *Annals of Fish and Aquatic Sciences* -
- Elana Rasmussen J Modelling food chain structure and contaminant bioaccumulation using stable nitrogen isotopes *Nature*
- Estilhos J, Vidone J D Mercury biomagnification in the ichthyofauna of Apajós river region, Amazonian, Brazil *Environmental Contamination and Toxicology* 43 (1) -
- Da Silva D S, Lucotte M, Roulet M, Poirier J, Mergler D, Santos M, Grossa M Trophic structure and bioaccumulation of fish in their natural lakes of the Brazilian Amazon *Water, Air, and Soil Pollution* 113 (1) -
- Deza J A Mercury accumulation in fish from Madre de Dios, a gold mining area in Amazon basin, Peru *Thesis or master of science* Oregon State University pp
- Dorea J, Barbosa A, Silva S Fish mercury bioaccumulation as a function of feeding behavior and hydrological cycles of the Rio Negro, Amazon *Comparative Biochemistry and Physiology, Part ( )* -
- Glander L D, Pinto F, Guimarães R D, Meili M, Oliveira L de e Silva J Fish mercury concentration in the Alto Pantanal, Brazil in function of season of and water parameters *The Science of Total Environment* 113 (1) -
- Jepsen D, Winemiller J Structure of tropical river food webs revealed by isotope ratios *Oikos* 113 (1) -
- Jehring Malm M Methylmercury in fish as tool for understanding the Amazon mercury contamination *Applied Organometallic Chemistry* 13 (1) -
- Lacerda L D, Vidone J D, Guimarães A F, Pereira W Mercury concentration in fish from the Itacaiúnas-Parauapebas River system, Pará region, Amazon *An Acad Bras Cienc* 73 (1) -
- Lebel J, Roulet M, Mergler D, Lucotte M, Laroche F Fish diet and mercury exposure in riparian Amazonian population *Water, Air and Soil Pollution* -
- López J I S Bioacumulación y biomagnificación de mercurio en diferentes poblaciones de peces en la amazonía boliviana tesis para obtener el grado de Magister o Scientiae en Biología y Conservación Universidad Mayor de San Andrés pp -
- Maurice Bourgoin L, Quiroga I Total mercury distribution and importance of the biomagnification process in rivers of the Bolivian Amazon *The biogeochemistry of South American Rivers and Wetlands* 13 (1) -
- Moreno D *Ecología Ambiental* Evaluación de riesgo para la salud humana *Ed Mc Rill/Interamericana* España pp
- MS Methylmercury environmental health criteria *Organización Mundial de la Salud* Ginebra
- Pérez R Bioacumulación y biomagnificación del mercurio en peces de la cuenca del Iténez (Bolivia) tesis de Magister o Scientiae en Ciencias Ambientales Universidad Mayor de San Simón pp -

- Pouilly M, Uno I, Rosales Torres L. Trophic structure of fish assemblages from Mamoré river floodplain (Bolivia). *Ecology of freshwater fishes*. -
- Roulet M. Le mercure son cycle biogéochimique et sa répartition aux échelles planétaire et amazonienne. In: Armouze P, Lucotte M, Doucou A (eds) *Le mercure en Amazonie*. Role de l'homme et de l'environnement, risques sanitaires. IRD éditions Paris, Francia. pp. -
- Stiling P. *Ecology theories and applications*. Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, Jersey USA. pp. -
- Uryu M, Malmgren, Horton I, Payne I, Leary D. Mercury contamination of fish and its implications for other wildlife of the Apajós basin, Brazilian Amazon. *Conservation Biology* ( ) -
- Vander Zanden M, Van der Raaij, Rasmussen J. Comparing trophic position of freshwater fish calculated using stable nitrogen isotope ratios ( $\delta^{15}\text{N}$ ) and literature dietary data. *Annals of the New York Academy of Sciences* -
- Vander Zanden M, Fetzer J. Local patterns of aquatic food chain length. *Limnology and Oceanography* -

Tabla III.2- Análisis de regresión lineal múltiple de las concentraciones de mercurio [Hg]c por la longitud estándar (LS), el  $\delta^{15}N$  de 21 especies de peces colectados en los ríos Iténez, Blanco y San Martín. El modelo utilizado es de tipo  $[Hg]c = \alpha LS + \gamma \text{Log}(15N) + b$ . Los coeficientes  $\alpha$  y  $\gamma$  asociados a cada variable así que el valor de intercepto  $b$  son inscritos en la tabla cuando son significativos.

Dieta/ Especie	Río	n	$\alpha$	$\gamma$	b	Pr	R
<b>Detritívoros - Alguívoros</b>							
<i>Curimatella cf. alburna</i>	Blanco	15					pocos individuos
	Iténez						n/s
	San Martín						n/s
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	Iténez						n/s
<i>Potamorhina latior</i>	San Martín						pocos individuos
<i>Psectrogaster essequibensis</i>	Iténez						n/s
<i>Psectrogaster rutiloides</i>	San Martín						pocos individuos
<b>Herbívoros</b>							
<i>Colossoma macropomum</i>	Blanco						pocos individuos
	Iténez						pocos individuos
<i>Schizodon fasciatus</i>	Blanco	15					n/s
	Iténez						n/s
	San Martín						n/s
<b>Invertívoros</b>							
<i>Bryconops sp.</i>	Blanco						pocos individuos
<i>Triportheus angulatus</i>	Blanco		,		- ,	,	,
	Iténez						n/s
	San Martín						n/s
<b>Zooplancívoros</b>							
<i>Hypophthalmus edentatus</i>	Blanco						pocos individuos
	Iténez						n/s
<i>Hypophthalmus marginatus</i>	San Martín						n/s
<b>Piscívoros estrictos</b>							
<i>Acestrorhynchus altus</i>	Blanco		,	15	- , 15	,	,
	Iténez		,		- , 15	,	,
	San Martín	15					n/s
<i>Acestrorhynchus microlepis</i>	San Martín						pocos individuos
<i>Ageneiosus brevifilis</i>	Iténez						pocos individuos
<i>Cichla pleiozona</i>	Iténez		,		- ,	,	,
	San Martín						n/s
<i>Hoplias malabaricus</i>	Blanco		,		- ,	,	,
	Iténez		,	15	- , 15	,	,
	San Martín						n/s
<i>Phractocephalus hemiliopterus</i>	Iténez		,	15	- ,	,	, 15
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Blanco						n/s
	Iténez						pocos individuos
<b>Piscívoros generalistas</b>							
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Blanco						pocos individuos
	Iténez		,		- ,	,	, 15
	San Martín						pocos individuos
<i>Pseudoplatystoma tigrinum</i>	Iténez						pocos individuos
<i>Pygocentrus nattereri</i>	Blanco		,		- ,	,	, 15
	Iténez	15	,		- ,	,	, 15
	San Martín				,	- ,	,