

**MONITOREO DE BIOTA EN EL RIO PILCOMAYO
EN LA SECCIÓN MISIÓN LA PAZ-POZO HONDO**

INFORME 2009-2010



Dra. Silvia De Simone

Subsecretaría de Recursos Hídricos

Ministerio de Planificación, Inversión Pública y Servicios

Informe de resultados de las campañas de biota 2009-2010

Introducción

Los cambios en la calidad del agua producen una serie de efectos en los organismos acuáticos, que pueden utilizarse como herramientas en monitoreos biológicos pues proveen información sobre diversos aspectos relativos a la calidad del agua y por ello son muy útiles para proveer información sistemática sobre su calidad. El biomonitoreo proporciona información adicional al monitoreo químico ya que los organismos acuáticos integran los efectos de variaciones temporales en la calidad del agua y pueden así proporcionar información sobre eventos puntuales de contaminación que los programas de monitoreo a intervalos fijos pueden no detectar.

Así, en octubre de 2008 se inician los muestreos de biota en Misión La Paz coordinados por la Subsecretaría de Recursos Hídricas de la Nación como complemento al monitoreo químico de la calidad de las aguas y sedimento que esta Subsecretaría implementa desde 2006 y cuyos objetivos fueron:

- establecer una línea de base para la evaluación de la calidad del río Pilcomayo mediante la acumulación de datos históricos generados a partir de la sistematización del monitoreo biológico
- determinar si el consumo de peces capturados en la zona no representa un riesgo para la salud de la población local y poder dar así recomendaciones de consumo a la población

Durante esta primera etapa, se buscó caracterizar la comunidad acuática y ensayar técnicas de captura, conservación y procesamiento de muestras utilizando dos metodologías o líneas de trabajo:

- a) Estudios de ecológicos
- b) Estudios de Biocumulación de sustancias por los organismos que viven en el cuerpo de agua

A continuación se exponen la metodología empleada, los resultados obtenidos y las conclusiones de la implementación de las líneas de trabajo antes mencionadas

A) ESTUDIOS ECOLÓGICOS - ANALISIS DE LA ESTRUCTURA DE COMUNIDADES BENTONICAS

INTRODUCCIÓN

En esta línea de trabajo se analizan los cambios en la estructura de las comunidades biológicas presentes en el cuerpo de agua y la presencia o ausencia de especies “indicadoras” (especies sensibles a distintos tipos de contaminación) en base a lo cual se elaboran índices bióticos, muy utilizados en el mundo para evaluar la calidad del recurso hídrico.

Los organismos bentónicos son aquellos organismos que habitan la superficie o el interior del fondo del lecho del río. Estos organismos tienen características ventajosas como bio-monitores, por ser ubicuos y tener hábitos sedentarios y por lo tanto reflejan las condiciones ambientales tanto al momento de la toma de la muestra, como la situación precedente. En este sentido se dice que el fondo tiene “memoria”. De esta manera, los cambios en abundancia, riqueza y biomasa de la comunidad bentónica reflejan variaciones físico-químicas del ambiente (stress, contaminación). Al mismo tiempo, están en contacto constante con las sustancias adsorbidas en el sedimento y las incorporan al componente biótico, proceso que puede culminar con los fenómenos de bioacumulación y biomagnificación. Dentro de este grupo, el **Macrobentos**, (organismos mayores a 1mm) son muy utilizados para el **cálculo de índices bióticos** por su fácil recolección, manipulación e identificación, y por la gran cantidad de información disponible sobre este grupo taxonómico. Por este motivo, **se decidió utilizar el grupo de macro invertebrados bentónicos como indicadores** de la situación ambiental en Misión La Paz–Pozo Hondo. Así, en mayo de 2010 se realizó un muestreo piloto de bentos con el fin de realizar una primera caracterización de la composición y abundancia de organismos bentónicos en la zona.

METODOLOGÍA

Se tomó una muestra de material del fondo en el centro del cauce (3 réplicas) con un barreno de 6cm de diámetro para análisis cuantitativo de los organismos bentónicos. Las muestras se conservaron en frascos plásticos de 1litro en formaldehído 4%.

Se colectaron además dos réplicas del sedimento de fondo y agua filtrada en la zona costera sobre la margen argentina del río bajo el puente internacional para análisis cualitativo. Las mismas se tamizaron con un tamiz 1000um y 500um de abertura de malla y se conservaron en frascos plásticos conteniendo formaldehído 4%.

Las muestras de sedimento de fondo se enviaron al ILPLA - Instituto de Limnología "Dr. Raúl A. Ringuelet" para su análisis.

RESULTADOS

Si bien el número de muestras colectado es insuficiente para un análisis de la situación del río en base a los invertebrados presentes, el hecho de que sólo se observara la presencia de Dípteros Chironomidae (*Chironomus* sp). (84 ind. m⁻²) en las muestras de sedimento de fondo del centro del río Pilcomayo estaría indicando que se trata de sitios bajo condiciones de estrés para el desarrollo de comunidades bentónicas. Dada la escasa o nula vegetación presente en la zona costera tampoco permite conformar áreas de refugio para la macro y mesofauna.

La composición del sedimento estuvo conformada por una importante cantidad de detritus orgánicos como puede observarse en la figura 1.

Si bien las muestras cualitativas aportaron en la zona de la margen argentina algunos otros invertebrados, estos fueron organismos tolerantes a factores de estrés como colonias de vorticélidos, dípteros ceratopogónidos, oligoquetos y nematodos.

Tabla 1: Muestras de sedimentos y agua colectadas en el Río Pilcomayo durante mayo de 2010

		Muestra 1	
Muestreo PILCOMAYO 12/05/2010		Misión La Paz	
		3 barrenos 6 cm diámetro	85 cm ²
		3 réplicas	
		integradas centro	ind/m ²
Protozoos coloniales (vorticélidos)			
Nematodes			
Oligochaeta			
Quironómidos Larvas		1	118
Ceratopogonidae larva			
** = se consideró 3 barrenos de 6 cm de diámetro= 84.82 cm ²			
Margen Argentina (cualitativo)		Muestra 2	
		Sedimentos	
		Individuos/ muestra	ind/m ²
		Protozoos coloniales (vorticélidos)	7
		Nematoda	2
		Oligochaeta	3
		Quironómidae (larvas)	
		Ceratopogonidae (larvas)	1
Muestra 3			
Agua Filtrada		sin invertebrados	ind/m ²



Fig. 1: Restos de detritos orgánicos de origen vegetal en los sedimentos del centro y margen del río Pilcomayo.

CONCLUSIÓN

El escaso desarrollo de organismos bentónicos y la prevalencia de organismos tolerantes -como Chironómidos, vorticélidos, ceratopogónidos, oligoquetos y nematodos- estarían indicando que se trata de sitios bajo condiciones de estrés para el desarrollo de comunidades bentónicas. Esto

podría explicarse en parte por la gran cantidad de sedimentos que transporta el río en esta zona, que impediría el paso de la luz y el desarrollo de fitoplancton y la fuerte corriente registrada en el centro del cauce que al remover constantemente el fondo impediría el asentamiento o desarrollo de comunidades bentónicas. A su vez, la vegetación en la zona costera es escasa o nula lo cual impediría conformar áreas de refugio para la macro y mesofauna.

De todas maneras, se sugiere considerar un mayor número de muestras colectadas con una draga de mayor tamaño (100- 200 cm²) o bien con una red tipo surber a fin de tener una idea más clara de la situación de la calidad del agua en base a invertebrados y poder cotejar los datos fisicoquímicos con la biota del lugar

B) ESTUDIOS DE BIOACUMULACIÓN

INTRODUCCIÓN

Muchos organismos pueden acumular ciertos contaminantes en sus tejidos, lo cual se conoce como bioacumulación. A su vez, las sustancias propensas a la bioacumulación, como los metales pesados, alcanzan concentraciones crecientes a medida que se avanza en el nivel trófico en la cadena alimenticia, lo que se conoce como biomagnificación¹. Estos fenómenos muchas veces confieren a la biota mayor sensibilidad como indicador de alteraciones en el medio ambiente que otros medios ya que, determinadas sustancias como los metales pesados, pueden bioacumularse en los organismos acuáticos y ser detectados aun cuando en el agua se encuentre a niveles indetectables.

El análisis de metales pesados en tejidos proporciona información muy valiosa sobre la biodisponibilidad, movilidad y destino de los contaminantes en el medio acuático. Cabe aclarar, sin embargo, que no es posible asignar una significancia ecológica a los niveles observados a menos que se realicen ensayos de toxicidad sobre los organismos en cuestión. Para este tipo de monitoreo se analizó el tejido de peces, los cuales, a diferencia de los organismos bentónicos, son móviles (migran), por lo tanto actúan como integradores de los cambios ocurridos a nivel de la cuenca. A su vez, están en el último eslabón de la cadena alimenticia en la que participa el hombre y por lo tanto son importantes a la hora de evaluar el riesgo al que está expuesto el hombre a través de su consumo.

¹Biomagnificación: proceso por el cual los organismos que están en un nivel trófico superior acumulan un compuesto a concentraciones mayores que las encontradas en el agua o incluso en el material particulado.

METODOLOGÍA

Captura

Para la captura se emplearon las redes utilizadas por los pobladores de la zona (red tijera), una red de arrastre de 25m de largo (malla de 130mm en la boca y el cuerpo y 120mm en la antebolsa y la bolsa) y una red agallera de tres paños de 50m de largo y 2 m de alto (mallas exteriores de 200mm e interiores de 100mm) utilizada con arrastre o a la deriva.



Tareas de captura en Misión La Paz

Área de captura

Se trabajó en el área comprendida entre 2.000m aguas arriba (zona de la exEstrella) y 4000m aguas abajo del puente internacional.

Especies capturadas

A fin de evaluar la posible biomagnificación de metales pesados en organismos acuáticos se escogieron cinco especies de consumo local con distintos hábitos alimentarios, a saber: *Prochilodus lineatus* o sábalo (iliófago estricto), *Schizodon borelli* o boga lisa (herbívoro), *Leporinus obtusidens* o boga común (omnívoro), *Pimelodus albicans* o bagre blanco (omnívoro, en contacto permanente con el lecho del río), *Salminus maxillosus* o dorado (piscívoro).



Prochilodus lineatus



Pimelodus albicans



Schizodon borelli



Leporinus obtusidens



Salminus sp

Parámetros biométricos

Se registró la talla de los ejemplares con un ictiómetro y el peso de los mismos con una balanza digital.



Determinación del peso y la talla de los ejemplares capturados

Extracción de tejidos para análisis de metales pesados

Una vez registrada la talla y peso fresco total de los ejemplares capturados, éstos fueron diseccionados en el lugar. Se extrajeron porciones de hígado y de músculo epaxial que fueron preservadas en bolsas de polietileno y mantenidas en conservadoras portátiles hasta Buenos Aires. Las cabezas se reservaron para la determinación de la edad cronológica.



Disección in situ de los ejemplares capturados

Análisis del contenido de metales pesados

Las muestras de tejido fueron enviadas a CNEA para la determinación del contenido de metales pesados (Cd, Pb, Ag, As y Hg) por ICP-MS en muestras compuestas de músculo e hígado.

Determinación de la edad cronológica

Las cabezas de los ejemplares capturados fueron derivadas al laboratorio del Dr. Espinach Ros en dependencias de la Subsecretaría de Pesca y Acuicultura de la Nación para la identificación taxónomica de las especies capturadas y la lectura de edades en otolitos.

Frecuencia de muestreos

Se realizaron dos muestreos anuales, uno al inicio (mayo) y otro la final (setiembre) del periodo migratorio del sábalo.

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se empleó el software estadístico SPSS ver. 20.0 (IBM)

RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados de las campañas de mayo y setiembre realizados en el período 2009-2010.

I -Acumulación de metales pesados en distintas en distintos órganos

La figura No2 muestra las concentraciones de los cinco metales analizados (cadmio, plomo, plata, arsénico y mercurio) en músculo e hígado de peces capturados en 2009-2010. En todas las especies analizadas, se observa una mayor acumulación de metales pesados en hígado que en músculo, indicando que el hígado puede ser un buen monitor de la calidad del cuerpo de agua.

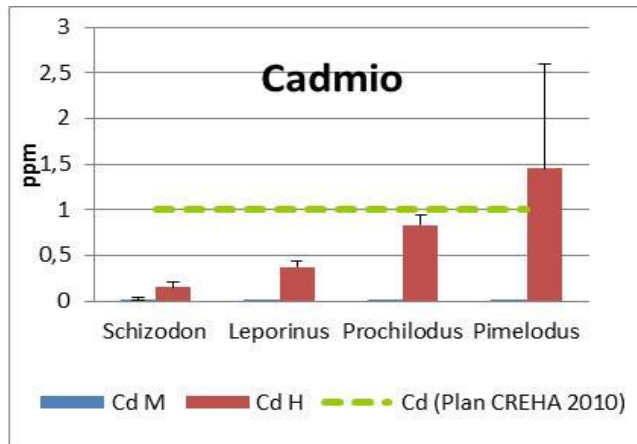
Los niveles de metales pesados en musculo se encuentran por debajo de los límites permitidos por la legislación argentina² pero los niveles registrados en hígado supera en algunos casos estos límites.

En particular, para los metales como la plata y el mercurio, para los cuales no es posible determinar si los niveles de estos metales en agua cumplen o no con los niveles guía para protección de la biota acuática porque el nivel guía está por debajo del límite de detección del ICP-MS, los bajos niveles registrados en todos los peces analizados (valores inferiores al máximo permitido por la legislación argentina) indican que estos metales no representan un peligro en las concentraciones presentes en el agua.

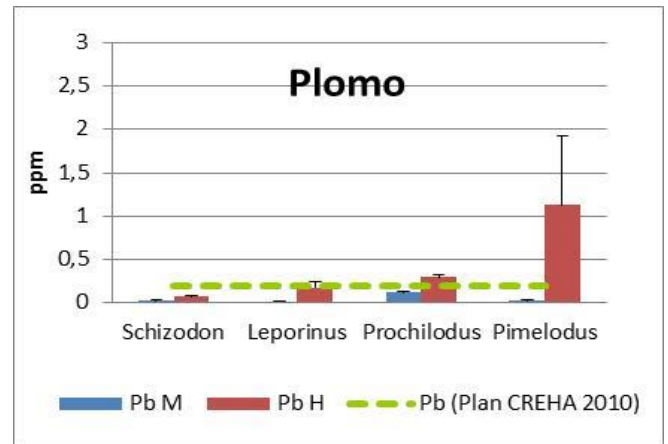
Se observa también que el hígado acumula principalmente cadmio, en segundo término plomo, plata y arsénico y mercurio.

² Plan Creha 2010 – SENASA (Cadmio 1ppm, Plomo 0,2ppm, Arsénico 4ppm y Mercurio 0,5 ppm para musculo de no predadores y 1ppm para predadores) ; Código Alimentario Argentino CapIII art156: 1ppm de plata

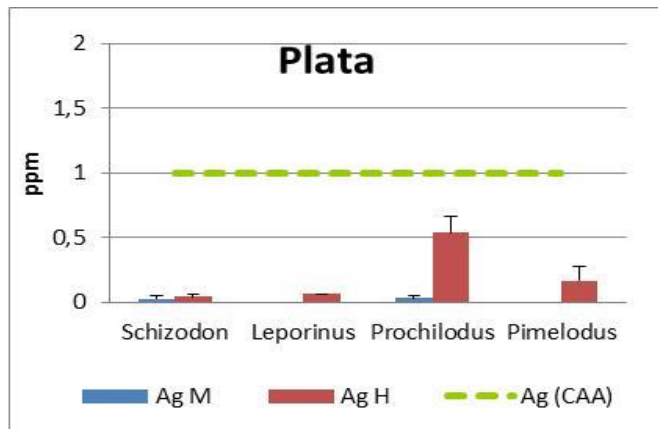
A



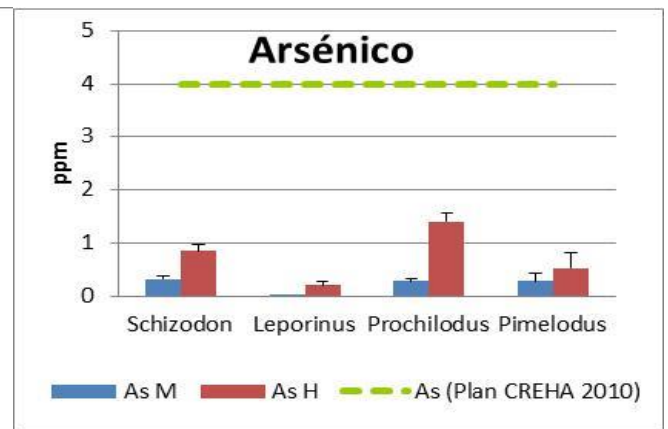
B



C



D



E

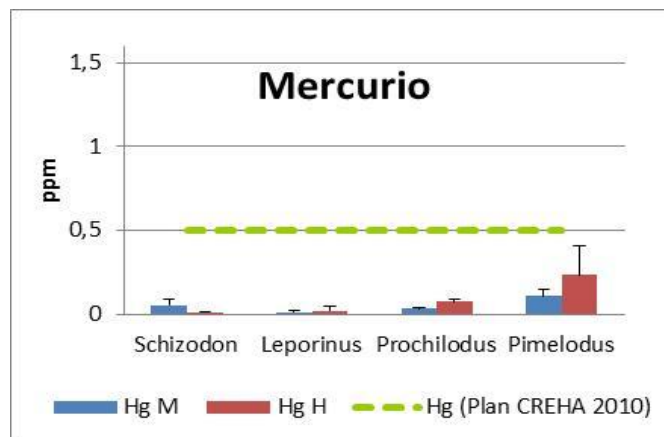


Figura No2: Contenido de cadmio (A), plomo (B), Plata (C), arsénico (D) y mercurio (E) en hígado y músculo de cuatro especies de peces capturados en el Río Pilcomayo- Sección Misión La Paz durante 2009-2010. Las barras representan la media + el error estándar (SE)

II- Acumulación de metales pesados en hígado de distintas especies

Dado que el hígado es el principal órgano de acumulación de metales pesados, se analizó la acumulación de metales pesados en hígado de las distintas especies capturadas a fin de determinar si existían diferencias inter- específicas. Los datos correspondientes a *Salminus maxillosus* (dorado) no fueron incluidos en el análisis debido al escaso número de muestras (n=1). En líneas generales, se observa un aumento de la concentración de metales pesados en especies asociadas al fondo del río como el sábalo (*Prochilodus lineatus*) y el bagre (*Pimelodus albicans*) (Tabla 2 y Figuras No3-7).

Tabla 2: Concentración (ppm) de metales en hígado de distintas especies

ESPECIE		CD	PB	AG	AS	HG
Prochilodus	Mean	,831	,294	,542	1,406	,079
	Std. Error	,108	,027	,125	,151	,014
Schizodon	Mean	,162	,078	,055	,929	,021
	Std. Error	,082	,012	,018	,167	,002
Leporinus	Mean	,378	,177	,065	,202	,025
	Std. Error	,069	,064	,005	,057	,024
Pimelodus	Mean	1,714	1,230	,201	,700	,263
	Std. Error	1,563	1,118	,152	,330	,241

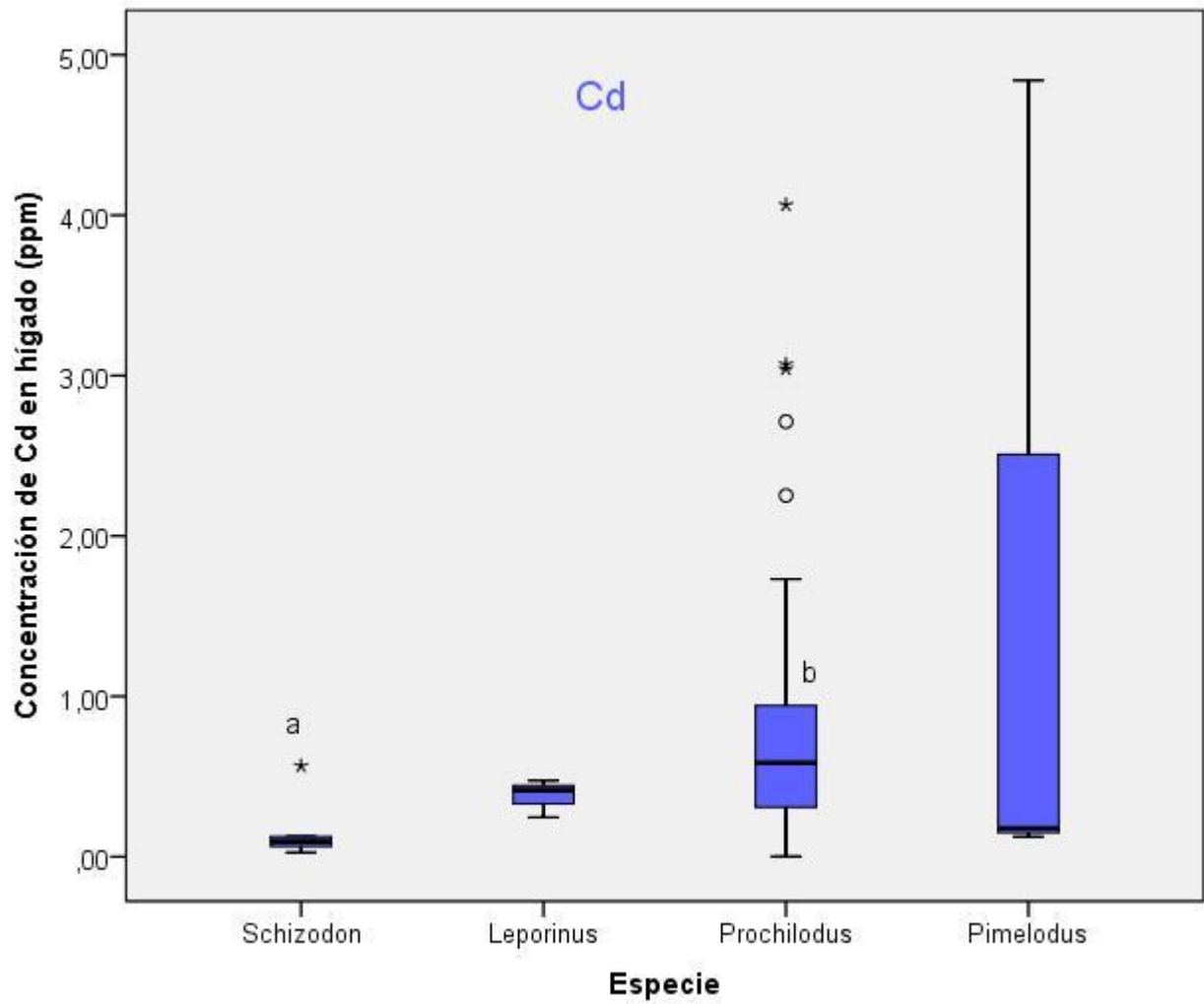


Figura No3: Concentración de cadmio (Cd), en hígado de boga lisa (*Schizodon sp*), boga común (*Leporinus sp*), sábalo (*Prochilodus lineatus*) y bagre (*Pimelodus sp*) . Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

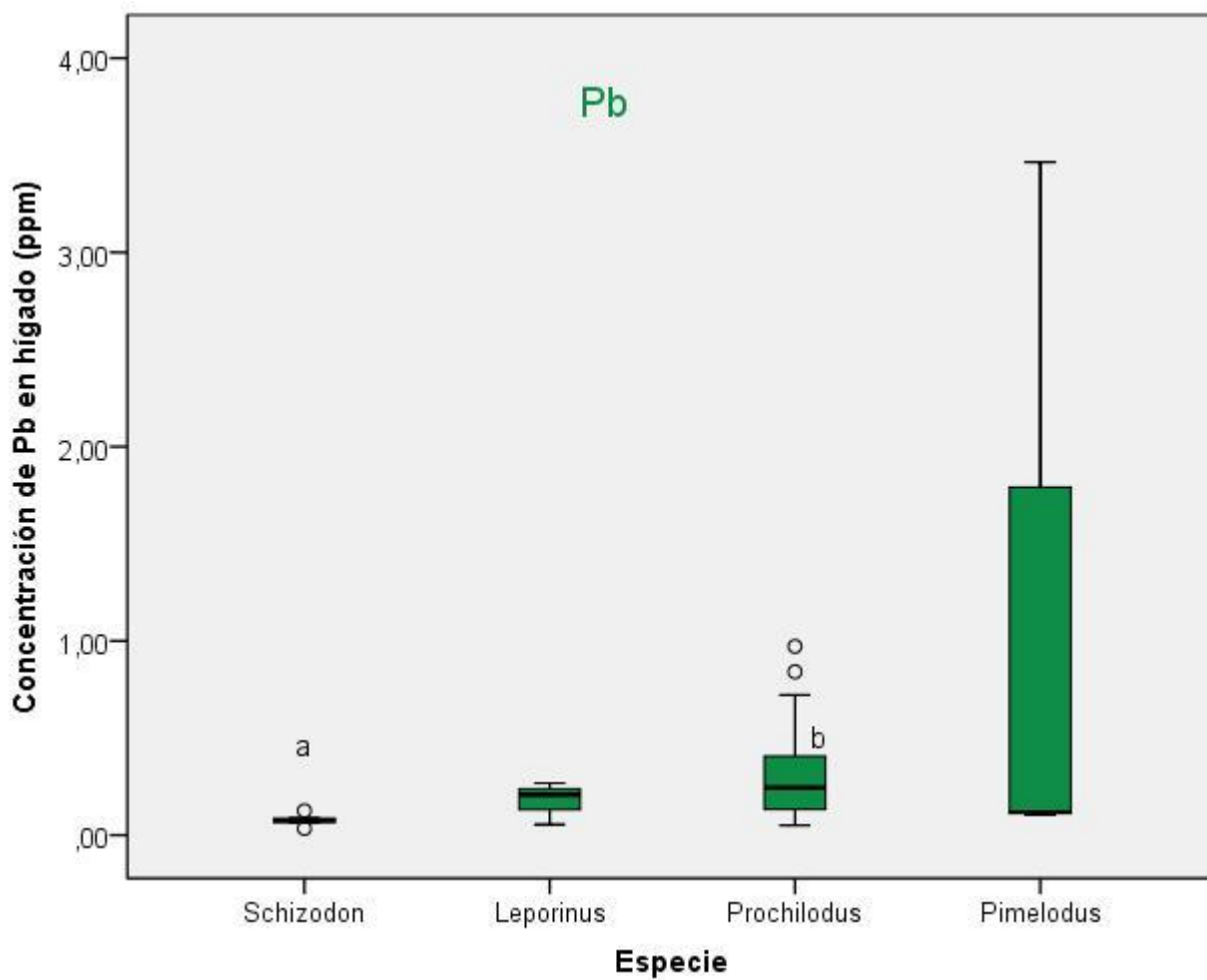


Figura No4: Concentración de plomo (Pb) en hígado de boga lisa (*Schizodon sp*), boga común (*Leporinus sp*), sábalo (*Prochilodus lineatus*) y bagre (*Pimelodus sp*). Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.01$).

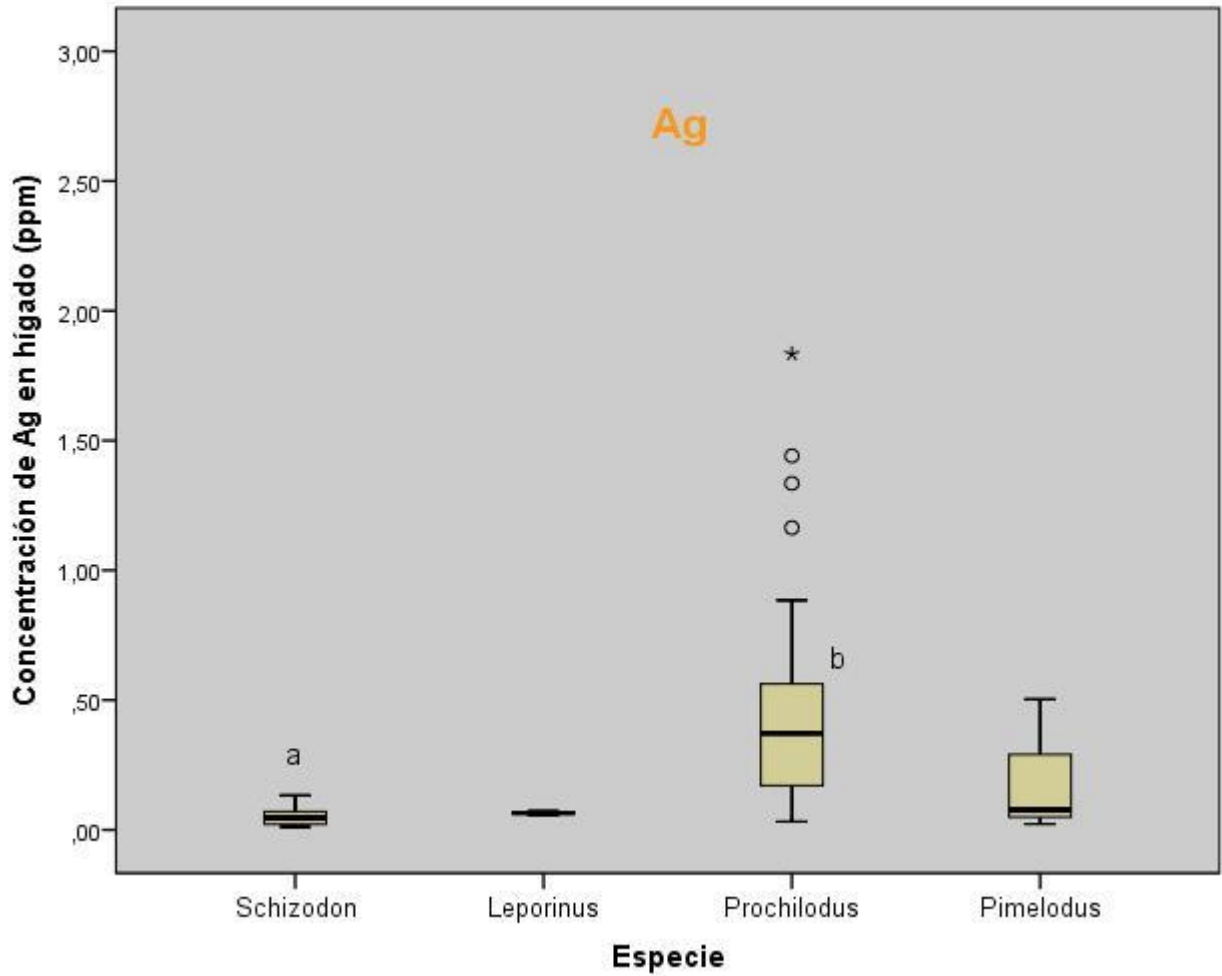


Figura No5: Concentración de plata (Ag) en hígado de boga lisa (*Schizodon* sp), boga común (*Leporinus* sp), sábalo (*Prochilodus lineatus*) y bagre (*Pimelodus* sp). Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$)

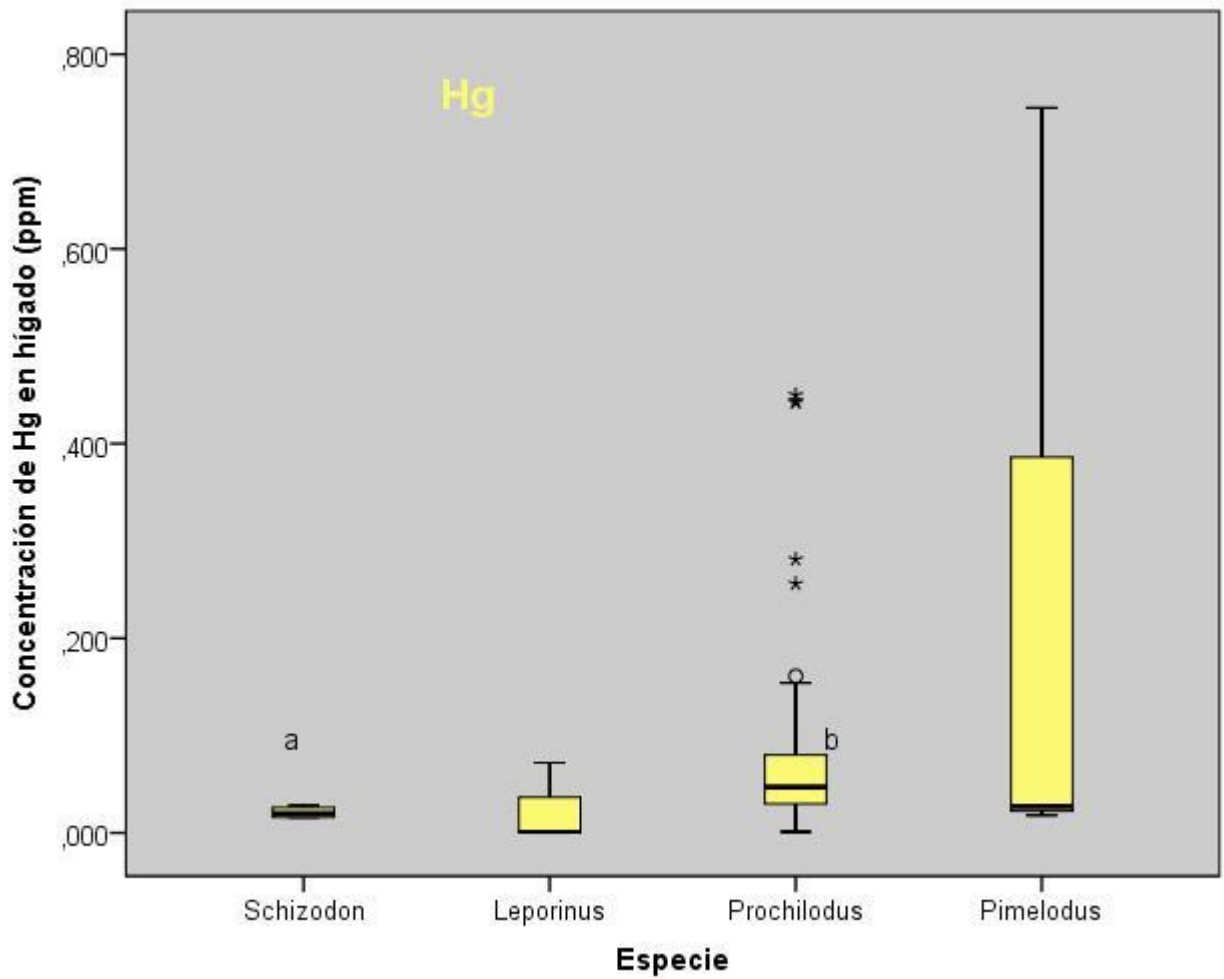


Figura No6: Concentración de mercurio (Hg) en hígado de boga lisa (*Schizodon sp*), boga común (*Leporinus sp*), sábalo (*Prochilodus lineatus*) y bagre (*Pimelodus sp*). Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.01$)

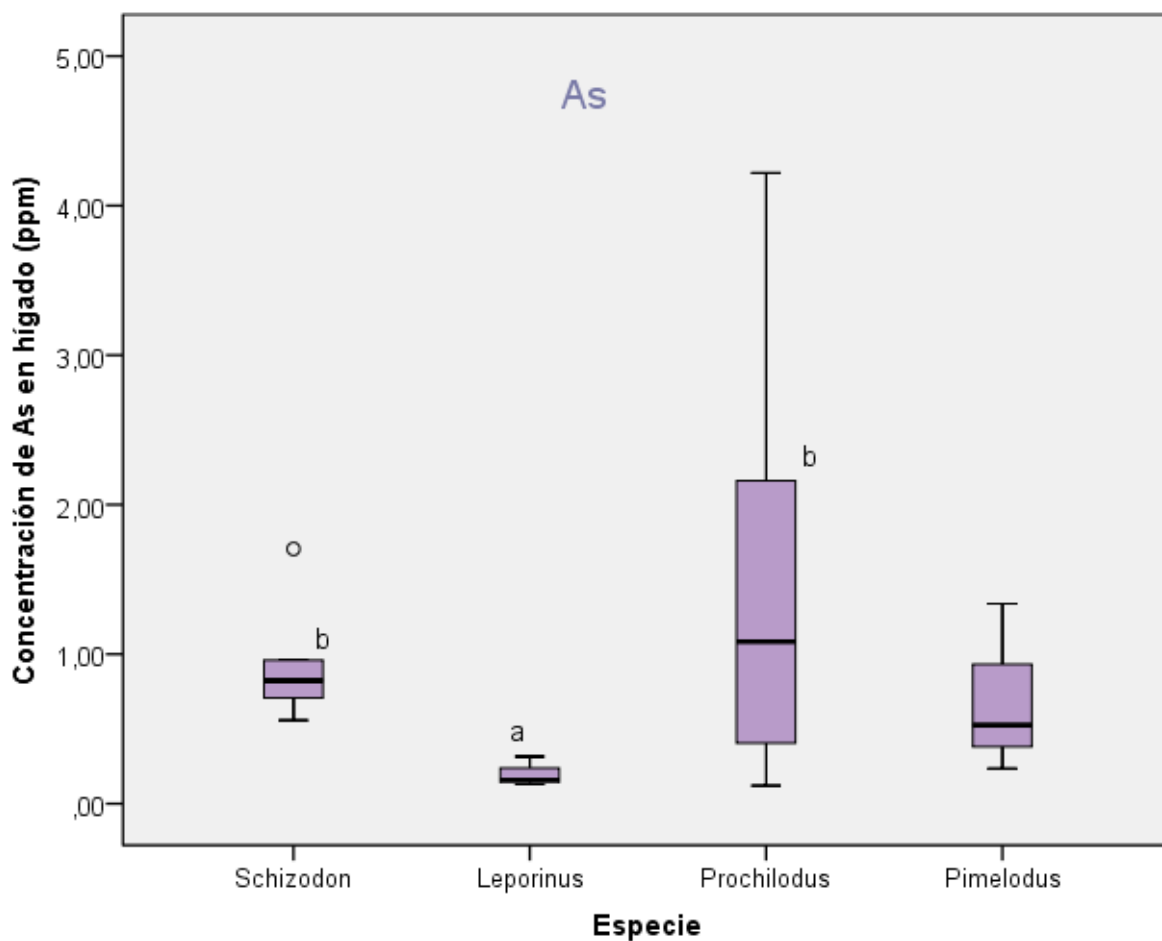


Figura No7: Concentración de arsénico (As) en hígado de boga lisa (*Schizodon sp*), boga común (*Leporinus sp*), sábalo (*Prochilodus lineatus*) y bagre (*Pimelodus sp*). Las letras diferentes indican diferencias significativas entre *Leporinus sp* y *Prochilodus sp* ($p < 0.01$) y entre *Schizodon sp* y *Leporinus sp* ($p < 0.05$)

Con el propósito de comprobar si estas diferencias eran estadísticamente significativas, se realizó un ANOVA de 1 vía para comparar el contenido de estos metales pesados en hígado de las cuatro especies analizadas.

Dado que los datos de cadmio y arsénico no cumplían con el presupuesto de normalidad pero sí el de homocedasticidad, se utilizó su homólogo no paramétrico, la prueba de Kruskal Wallis. Se observó un efecto significativo de la especie para Cd ($X^2 = 10,25$ $p < 0,05$) y Ag ($X^2 = 19,947$ $p < 0,01$). Debido a que esta prueba no permite la comparación post hoc entre las medias de las

distintas especies, se aplicó el test de Dunn. Los resultados indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sábalo (*Prochilodus lineatus*) y boga lisa (*Schizodon sp*) para cadmio y plata. Para determinar diferencias en el contenido de plomo, mercurio y arsénico se utilizó el Test de Welch, dado que los datos no cumplían con el presupuesto de homogeneidad de varianzas. Se observó también un efecto significativo de la especie para plomo ($F=15.377$, $P < 0.05$), Hg ($F= 5.336$, $p < 0.05$) y arsénico ($F=7.335$, $p < 0.01$) indicando que no todas las especies analizadas contienen niveles de plomo, arsénico y mercurio similares. A fin de determinar cuáles de las especies difieren en el contenido de estos metales, se realizaron análisis post hoc utilizando el método de Games-Howell. Al igual que con el cadmio y la plata, se observaron diferencias significativas entre *Prochilodus sp* y *Schizodon sp* ($p < 0.01$) para el plomo y el mercurio pero en el caso del arsénico, las principales diferencias se observaron entre *Prochilodus sp* y *Leporinus sp* ($p < 0.01$) y entre este último y *Schizodon sp* ($p < 0.05$).

Estos resultados indican que existen diferencias inter-específicas estadísticamente significativas en la acumulación de metales pesados en hígado y que, en líneas generales, los peces iliófagos (como el sábalo) acumulan más metales que los de hábito herbívoro (*Schizodon sp*), por lo cual el sábalo podría ser considerado una buena “especie indicadora” de la calidad del agua en el Río Pilcomayo. Por este motivo, se decidió realizar un análisis más exhaustivo de los datos en esta especie.

II - Datos biométricos del sábalo

La talla de los sábalos capturados en el río Pilcomayo a la altura de Misión La Paz-Pozo Hondo durante los años 2009-2010 osciló entre los 22-34cm de longitud estándar (LS) y la talla promedio fue de 27,8cm (Tabla 3).

Tabla No3: Parámetros biológicos del sábalo

Parámetro	Media \pm SD
LS (cm)	27.84 \pm 2.8
Peso (kg)	0.62 \pm 0.17
n	57

El gráfico de distribución de tallas (Figura No8) muestra que los sábalos capturados en el año 2009 presentaron un amplio rango de tamaños (de 22 a 34cm de longitud estándar) en relación a los capturados en 2010 (26-32cm de longitud estándar) y una talla modal (25cm) menor que la de los sábalos capturados en 2010 (29cm).

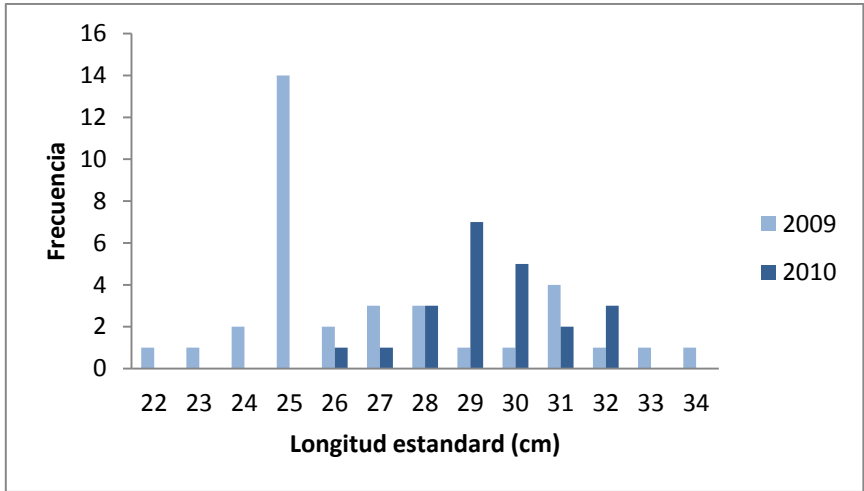


Figura No8: Estructura de tallas (LS) de Prochilodus lineatus capturados en el período 2009-2010

Lectura de la edad por otolitos indica que son en su mayoría individuos jóvenes (2 años de edad) aunque se han registrado individuos de hasta 5 años de edad (Figura No9).

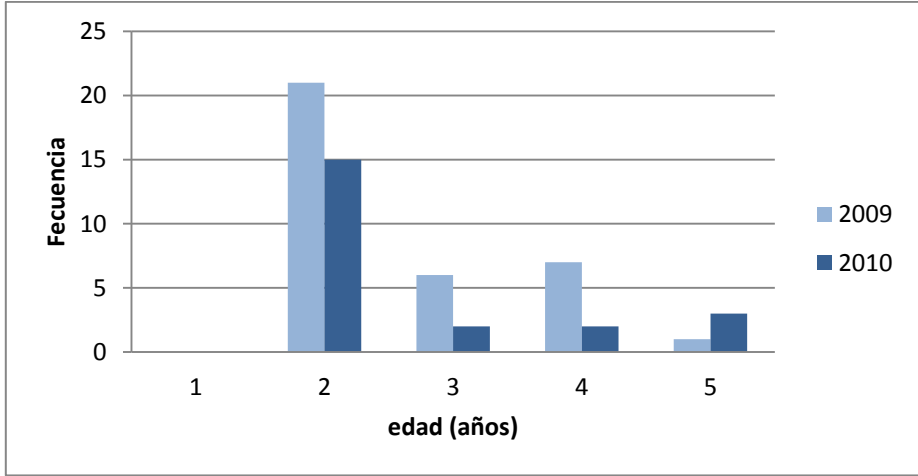


Figura No9: Frecuencia de distribución de edades de Prochilodus lineatus capturados en el período 2009-2010.

Cálculo del factor de condición en el sábalo

El análisis del factor de condición relativo (K) fue propuesto como indicador del bienestar general de los peces, ya que puede medirse con relativa facilidad, y sus variaciones se relacionan positivamente con la fecundidad, la reproducción y la tasa decrecimiento, así como con variables cualitativas como la composición de los tejidos, especialmente en términos de contenido lipídico de reserva.

El factor de condición (K) se determinó a partir de la relación talla-pesos de la totalidad de los individuos muestreados durante 2009-2010 (Figura No10), usando la ecuación $K = W/a \cdot LS^b$; donde, W es el peso de cada individuo en gramos, LS es la longitud estándar y las constantes a y b son el intercepto y la pendiente de la relación talla- peso. Debido a que la longitud es una magnitud lineal y el peso es igual al cubo de la talla, si un individuo mantiene su forma al crecer, entonces el crecimiento es isométrico ($b=3$). Cuando $b>3$, los individuos de mayor talla han incrementado su peso en mayor proporción que su longitud, presentando crecimiento alométrico positivo. En cambio, cuando $b<3$, los individuos incrementan preferencialmente su longitud relativa más que su peso. Para el caso de los sábalos capturados en Misión la Paz entre 2009-2010, el valor es menor que tres, indicando un crecimiento alométrico negativo. Estos resultados coinciden con los reportados por Baigun durante el mismo periodo (Baigun 2010).

El factor de condición de estos sábalos fue 1, indicando un buen estado general del pez.

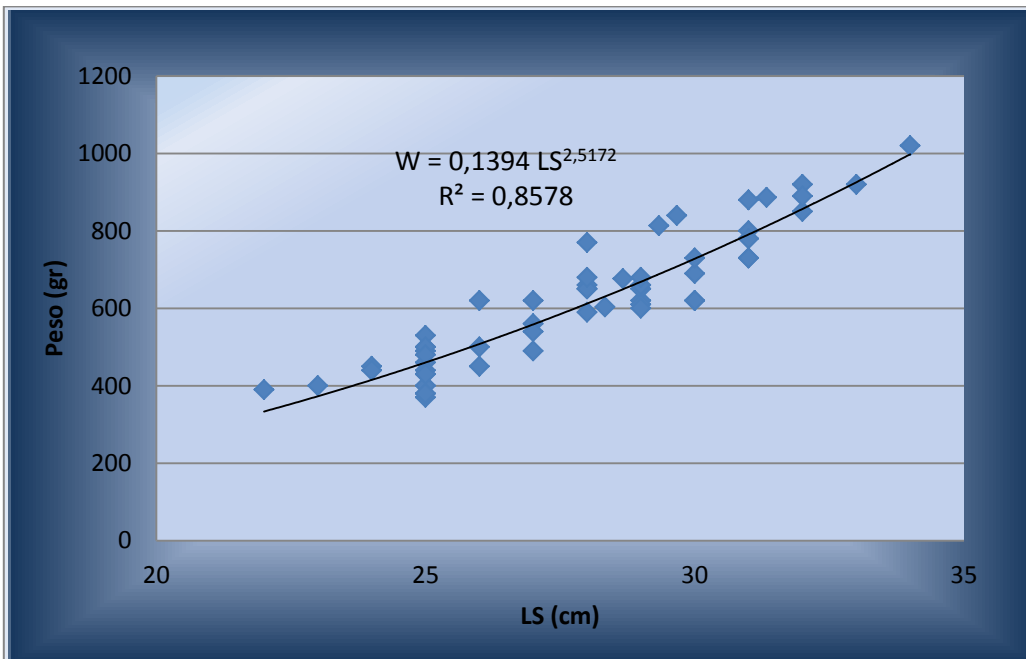


Figura No10: Relación peso vs talla de *Prochilodus lineatus* capturados en el período 2009-2010

Diferencias de en el factor de condición K entre épocas de muestreo.

A fin de determinar si existen épocas más favorables que otras, se analizaron las variaciones intermensuales del factor de condición (Tabla No4).

Tabla No4: Variación mensual del factor de condición (K) de sábalos capturados en 2009-2010. Los valores corresponden a la media \pm SD.

MES	FACTOR DE CONDICION (K)
mayo	1,00 \pm 0,89
septiembre	1,02 + 0,11

Dado que los datos cumplían con el presupuesto de normalidad, se realizó un t-test para comparar las medias de los factores de condición de mayo y septiembre. No se encontró una variación estacional significativa en el factor de condición de los sábalos capturados en mayo y setiembre ($t(55)=0.5$, $p=0.62$). Esto podría deberse al hecho de que ambos meses corresponden al periodo migratorio (otoño-invierno) del sábalo durante el cual la mayoría de los ejemplares presentan características biológicas similares como abundante grasa corporal y bajo índice de repleción. Estos parámetros se modificarían durante la época reproductiva (diciembre-febrero), lo que puede verse reflejado en variaciones en el factor de condición respecto de sábalos capturados durante la época de migración en función de la estrategia de alimentación y reproducción de la especie.

III – Bioacumulación de metales pesados

La acumulación de metales pesados en un tejido animal depende básicamente de la concentración en el agua y del tiempo de exposición (edad), pero hay otros factores ambientales (salinidad, pH, temperatura, etc.) y biológicos (género, tamaño del animal, etc.) que también influyen en este proceso. De todos ellos, se decidió analizar la variación en el contenido de metales pesados en función de la edad y la talla debido a que estos parámetros pueden ser utilizados en la elaboración de recomendaciones de consumo a la población.

III-1 Correlación entre la concentración de metales pesados en hígado y la talla de los sábalos capturados en 2009-2010

El tamaño de los organismos parece jugar un papel importante en la concentración de metales en los tejidos. A fin de determinar si existe una relación entre la talla de los peces y el contenido de metales pesados en hígado, se utilizó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman dado que los datos no seguían una distribución normal (Tabla No5). Se observa una correlación moderada y estadísticamente significativa ($p<0.01$) entre la concentración de metal en hígado y la talla del pez para el cadmio y el arsénico. Esta correlación es positiva (0,476) en el caso del cadmio y negativa (-0.658) para el arsénico.

Tabla No5: Relación entre el contenido de metales pesados en hígado y la talla de los sábalos capturados en 2009-2010

	Longitud standard
Spearman's rho Cd	,476* ,000 57
Pb	-,148 ,271 57
Ag	-,077 ,567 57
As	-,658* ,000 57
Hg	,019 ,891 57

(*) significativo al 99% (test de dos colas)

El siguiente diagrama de dispersión ilustra los resultados obtenidos mediante el análisis de correlación (Fig. 11). Se observa que las mayores concentraciones de cadmio en hígado se observan en individuos de mayor talla, mientras que los individuos más pequeños presentaron bajos niveles de metales pesados (Fig. 11 A). En el caso del arsénico, se observa una situación opuesta, ya que las mayores concentraciones se registraron en los ejemplares mas pequeños (Fig.11B).

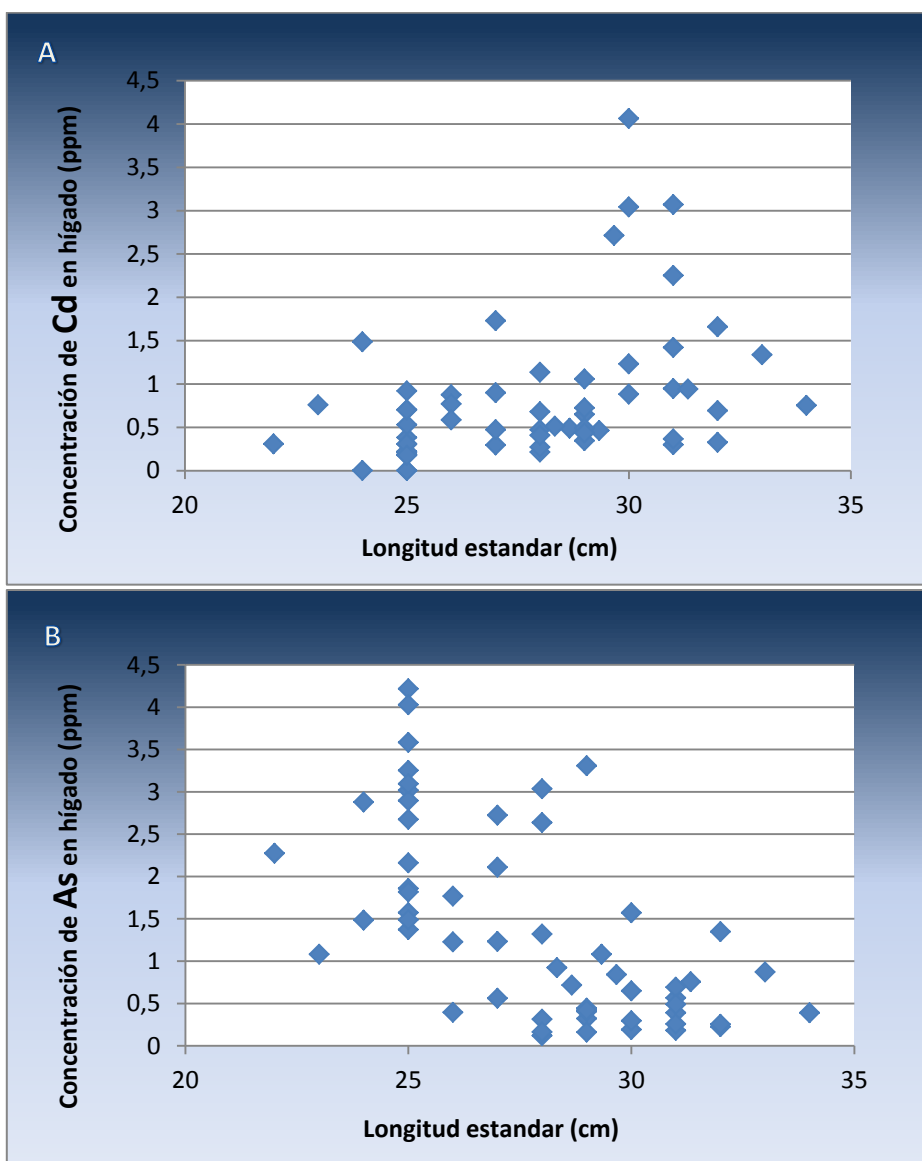


Fig No11: Variación de la concentración de cadmio (A) y arsénico (B) en función de la talla (longitud estándar de sábalos capturados durante el período 2009-2010).

III -2 Correlación entre la edad y la concentración de metales pesados en hígado de sábalo

En el siguiente gráfico de dispersión (FigNo12) se observa que la concentración de cadmio en hígado tiende a incrementarse con la edad de los ejemplares, ya que las mayores concentraciones se observaron en individuos de mayor edad.

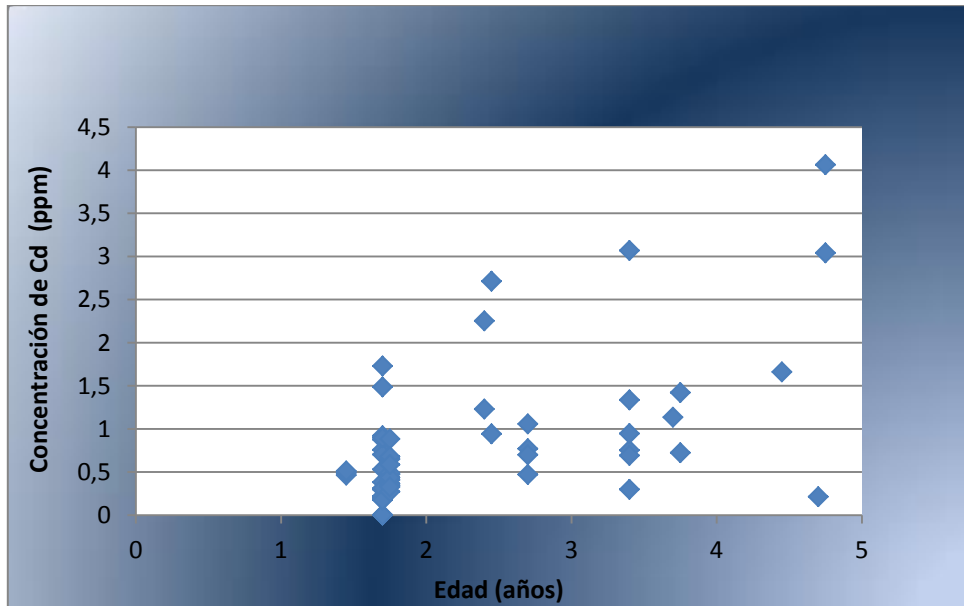


Fig No12: Variación de la concentración de cadmio en función de la edad de sábalos capturados durante el período 2009-2010.

A fin de evaluar la potencial bioacumulación de metales pesados en sábalo en relación a la edad de los ejemplares se analizaron las variaciones en el contenido de estos compuestos en hígado mediante un estudio de correlación no paramétrico (coeficiente de Spearman). En la Tabla No6 se observa una correlación positiva entre la edad y la concentración de cadmio en hígado ($\rho=0.499$, $p<0.01$). En el caso del arsénico también se observa una correlación moderada y significativa entre el contenido de este metal en hígado y la edad de los ejemplares, aunque en este caso es negativa ($\rho=-0.377$, $p<0.01$).

Tabla No6: Relación entre el contenido de metales pesados en hígado y la edad de los sábalos capturados en 2009-2010

			Edad
Spearman's rho	Cd	Correlation Coefficient	,499
		Sig. (2-tailed)	,000
		N	57
	Pb	Correlation Coefficient	,010
		Sig. (2-tailed)	,940
		N	57
	Ag	Correlation Coefficient	,051
		Sig. (2-tailed)	,705
		N	57
	As	Correlation Coefficient	-,377
		Sig. (2-tailed)	,004
		N	57
	Hg	Correlation Coefficient	,261
		Sig. (2-tailed)	,050
		N	57
Edad	Edad	Correlation Coefficient	1,000
		Sig. (2-tailed)	.
		N	57

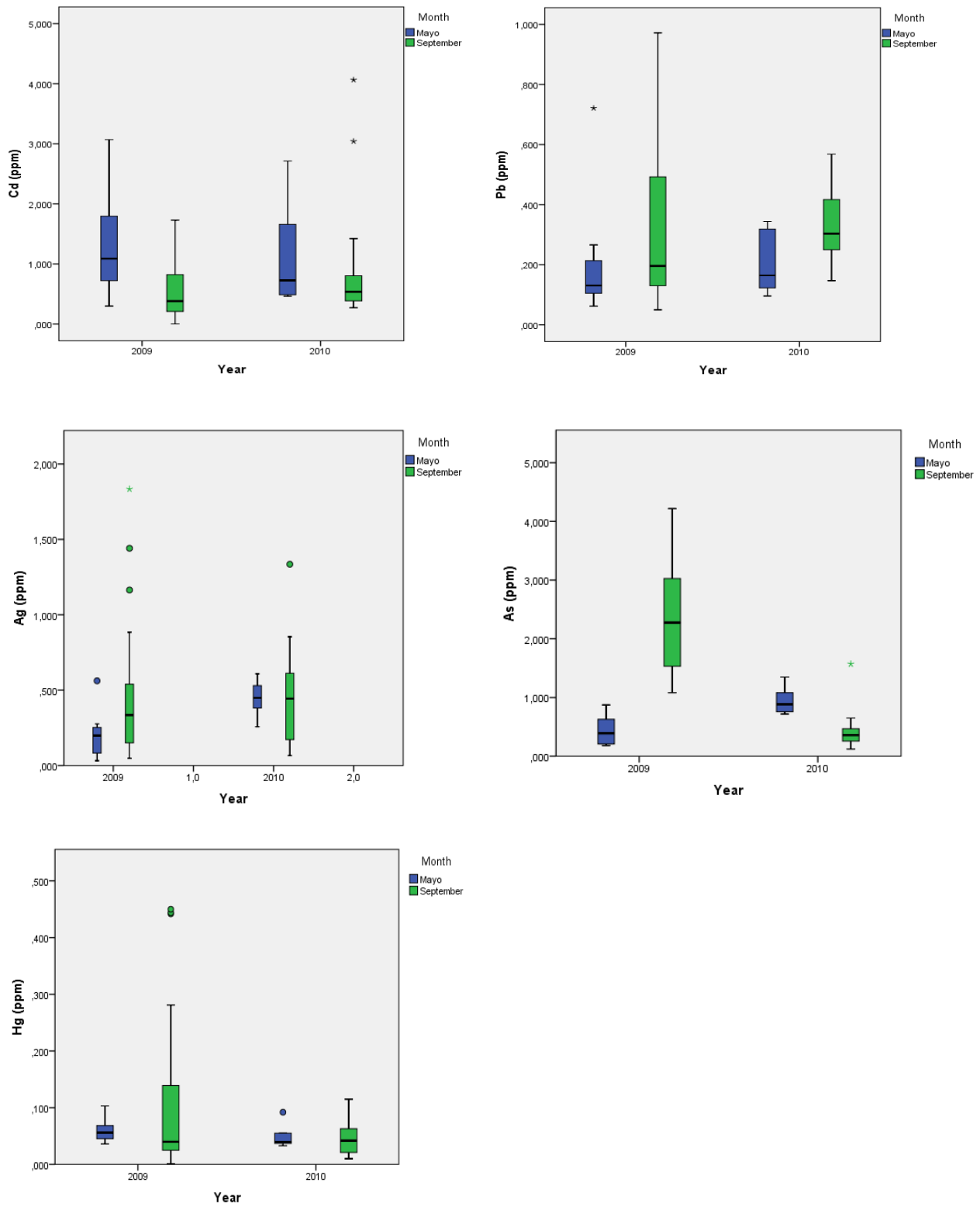
Si bien no se observa una asociación fuerte, ésta es significativa. Esto puede deberse al hecho de que los ejemplares capturados tienen un rango estrecho de edades (son individuos jóvenes de entre 1-3 años de edad), lo cual hace más difícil detectar incrementos significativos en el nivel de metales pesados.

IV - Variaciones estacionales en el contenido de metales pesados en hígado de sábalos del Pilcomayo.

A fin de determinar si existen diferencias entre años o épocas de muestreo, se analizó el contenido de metales en hígado mediante un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, utilizando el modelo de efectos mixtos (Suma de cuadrados Tipo III) para diseños desbalanceados (diferente número de réplicas por factor). Previo al análisis se chequeó la normalidad de los datos y la homogeneidad de varianzas mediante el test de Shapiro-Wilkinson y el test de Levene, respectivamente. En algunos casos (plata) los datos fueron transformados logarítmicamente ($\ln x+1$) para corregir desviaciones de la normalidad. Los datos que aún así no cumplían con el presupuesto de normalidad (cadmio, arsénico) fueron analizados utilizando un ANOVA paramétrico ya que el ANOVA es un test estadístico muy robusto a desviaciones moderadas de la normalidad (Glass et al. 1972, Harwell et al. 1992, Lix et al. 1996) pero utilizando un nivel de significancia más restrictivo (99%) para contrarrestar la mayor probabilidad de cometer un error de tipo I al utilizar distribuciones no normales. Los resultados fueron luego comparados con los obtenidos mediante un ANOVA no paramétrico (ANOVA sobre datos rankeados) para corroborar la validez de los resultados

obtenidos. Para aquellos casos que no cumplían con el presupuesto de homocedasticidad (plomo y mercurio), se realizó el ANOVA sobre los datos rankeados (Iman and Conover, 1982). La siguiente figura muestra la variación en el contenido de metales pesados en hígado de mayo y septiembre en los dos años de muestreo.

Fig13: Contenido de cadmio (Cd), plomo (Pb), plata (Ag) , arsénico (As) y mercurio (Hg) en hígado de sábalos capturados en 2009 y 2010 en Misión La Paz, Río Pilcomayo.



El contenido de cadmio en hígado en mayo y junio fue similar $F(1,53)=3,820$, $p > 0.01$. No se observaron diferencias significativas entre los años de muestreos ($F(1,53)=0.178$, $p>0.01$). La interacción entre estos dos factores tampoco fue significativa, $F(1,53)= 1,463$, $p>0.01$). El ANOVA sobre datos rankeados de cadmio devolvió resultados similares (efecto del mes $F(1,53)=6,525$, $p < 0.01$; efecto del año de muestreo $F(1,53)=0.078$, $p>0.01$ y efecto de la interacción $F(1,53)= 1,204$, $p>0.01$), indicando que los resultados obtenidos mediante el ANOVA paramétrico son válidos. No se pudo realizar un análisis de Covarianza (ANCOVA) para analizar las variaciones estacionales en el contenido de cadmio eliminando el efecto de la edad (covariable) ya que los datos no cumplían con el presupuesto de homogeneidad de regresión (pendientes).

Se observó que el nivel de **plomo** en hígado de mayo fue similar al de setiembre, $F(1,53)=6,204$, $p < 0.01$. No se observaron diferencias significativas entre los años de muestreos $F(1,53)= 1,186$, $p>0.01$) ni en la interacción entre ambos factores, $F(1,53)= 0,223$, $p>0.01$).

En el caso del **arsénico**, el ANOVA sobre datos transformados logarítmicamente mostró diferencias estadísticamente significativas entre mayo y setiembre, $F(1,53)=6,917$, $p<0.05$ como así también entre los años 2009 y 2010 , $F(1, 53)=9,612$ $p<0,01$. Se observa que los valores de arsénico en hígado en setiembre de 2009 son comparativamente altos respecto a los observados en otras épocas de muestreo por lo cual los valores de arsénico en hígado muestran una tendencia opuesta de mayo a setiembre en ambos años de muestreo. Esto se reflejaría en la interacción altamente significativa observada entre ambos factores, $F(1,53)=80,6$ $p<0,01$ y que explicaría el 60,3% de la varianza total en la concentración de arsénico en hígado.

No se observaron diferencias significativas en el nivel de plata y mercurio en hígado entre los meses y años de muestreo y la interacción fue no significativa ($p>0.05$).

Conclusiones

Análisis de metales pesados en peces

Los niveles de metales pesados varían mucho según el tipo de tejido y especie.

En todas las especies analizadas, se observa una mayor acumulación de metales pesados en hígado que en músculo, indicando que el hígado puede ser un buen monitor de la calidad del cuerpo de agua. Las diferencias entre tejidos se relacionan con la capacidad de cada uno de inducir la síntesis de proteínas que fijan los metales. Las mayores concentraciones se encuentran en el hígado, donde hay una gran cantidad de estas proteínas.

Existen también diferencias en el contenido de metales pesados entre especies. Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el sábalo (*Prochilodus sp*) y la boga lisa u overa (*Schizodon sp*). Estas diferencias podrían atribuirse a los diferentes hábitos alimentarios de cada una de estas especies ya que la boga es herbívora mientras que el sábalo se alimenta del sedimento (iliófago estricto).

Aptitud para el consumo

Las comunidades aborígenes que viven en la zona practican la pesca de subsistencia. Entre las especies de mayor consumo se encuentran el sábalo, en primer lugar, aunque también se consumen otras como la boga, el dorado y el bagre. Los niveles de metales pesados en músculo se encuentran por debajo de los límites permitidos por la legislación argentina pero los niveles registrados en hígado superan en algunos casos estos límites. Cabe destacar que estas comunidades tienen el hábito de consumir el pez entero, es decir, con vísceras incluidas. Para determinar si el consumo de hígado de peces capturados en Misión La Paz representa un riesgo para la salud es necesario conocer cuál es el nivel de consumo de pescado en estas comunidades. Lamentablemente, por el momento no se dispone de datos estadísticos de consumo de pescado en dichas comunidades.

En este sentido, el análisis de metales pesados discriminado por especie, tamaño, edad y tejido provee información útil a la hora de dar recomendaciones a la población, ya que de existir contaminación, podría indicarse el consumo de ejemplares de determinadas especies, recomendar que se descarten los tejidos en los que el contaminante se acumula (vísceras) o eventualmente restringir el consumo a individuos de menor talla (individuos más jóvenes) si el contaminante se bioacumula con la edad.

Datos biométricos del sábalo

Los sábalos capturados en el Río Pilcomayo en la sección Misión La Paz-Pozo Hondo durante los años 2009-2010 son ejemplares jóvenes, de dos años de edad promedio.

No se encontró una variación estacional significativa en el factor de condición de los sábalos capturados en mayo y setiembre probablemente debido al hecho de que ambos corresponden al periodo migratorio del sábalo (otoño-invierno) durante el cual la mayoría de los ejemplares presentan características biológicas similares.

Bioacumulación de metales pesados

La acumulación de metales pesados en los seres vivos depende de la concentración del metal, tiempo de exposición, la forma en que es incorporado el metal, las condiciones ambientales (temperatura del agua, pH, salinidad y dureza) y factores intrínsecos como la edad y tamaño del pez, hábito alimentario (Jeziarska and Witeska 2001).

El hecho de que los ejemplares de mayor talla y edad presentaran los valores más altos de cadmio en hígado estaría indicando que el cadmio se puede acumular en el hígado de sábalos a una tasa mayor que la tasa de excreción a medida que el pez crece. Por otro lado, la asociación relativamente alta entre la concentración de cadmio en hígado y la edad, en relación al resto de los metales analizados, sugieren que este metal se acumula preferentemente en el hígado. En el caso del arsénico, esta correlación es negativa ($\hat{\rho} = -0.377$, $p < 0.01$). Esto no necesariamente significa que el pez no incorpore más metal a medida que el pez crece sino que la acumulación de

un metal pesado depende de las variaciones en la tasa de ingesta de alimento con la edad, la dilución por el crecimiento, de los hábitos particulares de alimentación de ciertas clases etáreas y diferencias en las tasas metabólicas de acuerdo al tamaño (Authman 2008; Newman and Doubet 1989). Normalmente, los individuos jóvenes tienen una actividad mayor que los viejos, lo que les lleva a acumular más sustancias. Los resultados obtenidos para el arsénico estarían indicando que los sábalos analizados son capaces de diluir las concentraciones de arsénico en sus tejidos gracias al crecimiento de su cuerpo ($\rho = -0.658$) y, en menor medida ($\rho = -0.377$), a la menor actividad de los individuos más viejos.

El análisis estacional de la concentración de metales pesados en hígado de sábalos no mostró diferencias significativas para el cadmio, plata, mercurio y plomo entre meses (mayo y junio) y años (2009-2010) de muestreo. En el caso del arsénico se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los años y meses de muestreo. La interacción entre ambos factores también resultó altamente significativa, ya que los niveles de arsénico en hígado registrados en mayo se incrementaron de 2009 a 2010 mientras que los valores de setiembre mostraron una tendencia opuesta a lo largo del mismo período. Esto podría explicarse por los valores relativamente altos de arsénico en hígado registrados en setiembre de 2009 y que podrían estar relacionados con los picos de arsénico total registrados en la cuenca alta en mayo de 2009 (Tarapaya, 2.527ug/l) y febrero de 2008 (San Juan del Oro, 480ug/l).

Bibliografía

Authman MMN (2008). *Oreochromis niloticus* as a biomonitor of heavy metal pollution with emphasis on potential risk and relation to some biological aspects. *Global Veterinaria*, 2(3):104-109.

Baigun C. (2010) Estudios complementarios sobre ictiología (migración). Informe final 2010. Comisión Trinacional para el Desarrollo de la Cuenca del Río Pilcomayo

Iman, R.L., Conover, W.J. (1982) A distribution-free approach to inducing rank correlation among input variables. *Commun.Statist.-Simula. Computa.* 11, 311-334.

Jezierska B and Witeska, M. The metal uptake and accumulation in fish living in polluted waters. Department animal Physiology, University of podlasie, Pursa 2001, 12, 08-110 Siedlce, Polant pp 107.

Newman, M.C. and D.K. Doubet (1989) Size dependence of mercury (II) accumulation kinetics in the mosquitofish, *Gambusia affinis* (Baird and Girard). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 18:819-825