

NIVELES DE PLOMO EN MÚSCULO DE SÁBALO (*Prochilodus lineatus* y *P. nigricans*) PROVENIENTES DEL RÍO PILCOMAYO Y RÍO GRANDE¹

Quezada, A.O.R.²; Corcuy, N.A.³; Moreno, J.R.⁴

Facultad de Ciencias Veterinarias, UAGRM

I. RESUMEN.

El presente trabajo determinó los niveles de plomo en músculos del pez sábalo (*Prochilodus lineatus* y *P. nigricans*) provenientes del Río Pilcomayo y Río Grande. Se trabajó con 12 muestras de pescados sábalos obtenidos de manera representativa y al azar de los ríos Pilcomayo y Río Grande, en los cuales se midió los niveles de plomo mediante el método oficial de la AOAC en los laboratorios del Centro de Investigación y desarrollo de tecnología de Alimentos (CIDTA) de la UAGRM, durante los meses de mayo a agosto del año 2005. Los datos se evaluaron a través de la prueba T de comparación de medias e intervalo de confianza al 95%. En las muestras provenientes del Río Grande se obtuvo una media de 382,24 g de peso por pescado, con una longitud promedio de 25,82 cm; la concentración promedio de plomo (Pb) fue de 108,88 ng/g, con una desviación estándar de 1,58, un error estándar de la media de 0,46 y con un intervalo de confianza al 95% para la media de 107,87 – 109,88. promediaron un peso de 447,75 g y una longitud de 27,59 cm. La concentración promedio de plomo en los peces del río Pilcomayo fue de 104,87 ng/g, con una desviación estándar de 4,3; un error estándar de la media de 1,24 y un intervalo de confianza al 95% para la media de 102,13 – 107,60. Las concentraciones promedio de plomo en músculo de pescados sábalo del río Pilcomayo y del Río Grande fueron de 104,87 ng/g ($\pm 1,24$) y 108,88 ng/g ($\pm 0,46$) respectivamente, con una diferencia de la media de 4,011 ng/g ($\pm 1,325$) con un intervalo de confianza al 95% de -6,76 a 1,26, demostrándose diferencia estadística significativa ($P < 0,05$), determinando que los pescados provenientes del Río Grande presentan una mayor concentración. Estos niveles se encuentran dentro de los límites permitidos por normas internacionales. La contaminación de las aguas, al constituirse en un desastre ecológico si no también de importantes pérdidas para la economía del País y de fuentes de trabajo, sin mencionar el riesgo en la salud de los pobladores que viven en las cercanías de los ríos consumiendo de sus aguas y sus pescados, sugiere continuar con estos estudios que determinen el nivel de plomo en peces de otras cuencas hidrográficas del País.

1. Tesis de Grado presentado por Quezada Arrieta Oscar Raúl para obtener el título de Médico Veterinario Zootecnista, Facultad de Ciencias Veterinarias, UAGRM. Santa Cruz-Bolivia.

2. Santa Cruz de la Sierra Bolivia.

3. Médico Veterinario Zootecnista. Profesor titular de Piscicultura de la Facultad de Ciencias Veterinarias.

4. Médico Veterinario Zootecnista. PhD. Profesor titular de la Facultad de Ciencias Veterinarias.

II. INTRODUCCIÓN.

La contaminación crónica del Pilcomayo con lodos tóxicos está determinada hace bastante tiempo atrás y es posible que peces, como el sábalo, contengan cada vez más elevadas concentraciones de metales pesados provenientes de la zona minera en la Cuenca Alta del Pilcomayo (CERDET, 1998).

Entre los metales pesados que contaminan sus aguas se encuentran el plomo, arsénico y cadmio. En la Unión Europea estas recomendaciones se aplican desde el 5 de abril del 2002 y fijan valores máximos de plomo de 0.02 mg/kg para leches y 0.1 mg/kg para carnes (CODEX, 2001).

El pez sábalo (*Prochilodus lineatus*) del río Pilcomayo es de gran importancia para la subsistencia de un considerable número de habitantes del sector que cruza desde el sur oeste en el departamento de Potosí, hasta el sur este del departamento de Tarija. A partir de 1950, la pesca en Villamontes fue desarrollándose paulatinamente, hasta convertirse en la actualidad en una actividad económica importante para una considerable parte de la población. Para la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la FAO (2000) los problemas sanitarios pueden tener su origen en el consumo de productos animales contaminados por *salmonellas*, *campilobacters*, *E. coli*, micotoxinas dioxinas, residuos de pesticidas, medicamentos y metales pesados (Plomo, Cadmio y Mercurio) (CEPAL, 2001).

Algunos metales pesados como el plomo una vez consumidos ya no pueden eliminarse del organismo y su acumulación progresiva puede provocar daños graves e irreversibles en la salud de las personas. El consumo de plomo puede provocar retraso mental e intelectual en los niños y desarrollar

enfermedades cardiovasculares, renales, cáncer de piel, pulmón y próstata en adultos (Martínez, 1994).

En Bolivia, el año 2004, se ha incrementado la exportación de plomo en un 134%, paralelo a ello el grado de contaminación por metales pesados ha aumentado en las cuencas hidrográficas del país, por ello aumentó el interés de conocer el grado de contaminación de las aguas del Río Pilcomayo y Río Grande y su efecto en quienes viven de sus aguas, entre estos el pez sábalo (*Prochilodus lineatus*) cuya importancia económica y alimenticia para los habitantes es de trascendencia social.

De acuerdo a estos antecedentes, se plantearon las siguientes hipótesis: **Ha:** Los niveles de plomo en músculo del sábalo de Río Pilcomayo y Río Grande, no sobrepasan los límites máximos tolerables para el consumo humano; **Ho:** La concentración de plomo en músculo de sábalos del Río Pilcomayo, son semejantes a los encontrados en los sábalos del Río Grande.

Con el objetivo general de determinar los niveles de plomo en los músculos del pez sábalo (*Prochilodus Lineatus*, *P. Nigricans*) provenientes del Río Pilcomayo y Río Grande, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Cuantificar la presencia del plomo en músculo del sábalo del Río Pilcomayo y Río Grande por el método de espectrofotometría de absorción atómica.
- ✓ Comparar los niveles de plomo que hay en el músculo de pescados del Río Pilcomayo y Río Grande.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

3.1. La contaminación y los recursos pesqueros en las cuencas hidrográficas de Bolivia.

Bolivia pertenece a tres grandes cuencas hidrográficas: la cuenca del Amazonas, la cuenca del río de La Plata y la cuenca Endorreica o Cerrada del Altiplano. A pesar de existir una producción pesquera tanto en la Amazonía como en el Altiplano, el consumo de pescado en Bolivia esta entre los más bajos en América Latina y en el mundo (1 kg/persona/año, muy inferior a lo recomendado por la FAO, 12 kg/persona/año) (MAGDR, 2001).

3.1.1. Cuenca del Amazonas.

3.1.1.1. Río Grande o Guapay.

El Río Grande o Guapay es uno de los cursos importantes del Oriente boliviano en el departamento de Santa Cruz. Río navegable que proporciona el sustento básico para la vida en una región de difíciles condiciones donde habitan varios pueblos. Es además el medio de vida de un alimento tan importante y apetecido por la población boliviana como es el pez sábalo (*Prochilodus Nigricans*), especialmente de la región de Pailón consumido por los pobladores de esa ribera (MAGDR, 2001).

La zona Piedemontaña, la mas poblada e importante, esta dentro del arco formado por el río Grande, es cálido, o mas bien tibio, húmedo y poco alterable. El termómetro marca un término medio anual de 27° C. y la precipitación esta producida en un promedio de 1200 mm, igualmente anual. El río Grande tiene una longitud de 280 Km, extendiéndose desde Mairana

(provincia Florida) Santa Cruz hasta el río Grande o Guapay (Yapacani-Provincia Ichilo) Santa Cruz (Navarro, 2002).

3.1.1.2. La pesca en los ríos Amazónicos.

Casi todos los ríos Amazónicos sostienen una pesca de subsistencia importante. Además, algunos ríos (río Ichilo, río Mamoré, río Iténez, río Beni, río Madre de Dios) también sostienen una pesca comercial (MAGDR, 2001).

Se han identificado un total de 389 especies en la Amazonía Boliviana. Peces de tipo *Siluriformes* y *Characoidei* son los predominantes. Las especies más grandes de estos grupos constituyen la mayor parte de las capturas comerciales de la cuenca Amazónica. Las capturas de subsistencia son más variadas. Los recursos pesqueros explotables pueden dividirse tentativamente en los peces que realizan largas migraciones de desove (por ejemplo, el plateado *Brachyplatystoma fasciatum*) y aquellos que se trasladen lateralmente a las llanuras inundadas adyacentes para desovar y alimentarse (por ejemplo, el pacú *Colossoma macropomum*). Se supone que el recurso pesquero está subexplotado, aunque algunas especies (como pacú) en algunas áreas específicas (por ejemplo en la cuenca del río Mamoré) muestran los primeros signos de sobre-explotación (Navarro, 2002).

3.1.2. La Cuenca del Plata.

3.1.2.1. Río Pilcomayo.

El Río Pilcomayo es parte de la cuenca del Plata, uno de los tres drenajes principales en Bolivia. El Pilcomayo presenta el 42.75 % de esta cuenca atraviesa cuatro departamentos, Oruro, Potosí, Sucre, y Tarija, se diferencia

tres partes del río, a saber: el Pilcomayo superior, medio e inferior, constituidos básicamente por los Ríos Tumusla, San Juan del Oro y Pilaya. El área total de la cuenca del Río Pilcomayo en Sud América es de 272.000 km² de los cuales 99.110 km² (36%) corresponden a Bolivia, el resto (64 %) se distribuye entre Paraguay y Argentina (Smolders, 1998).

La cuenca del Río Pilcomayo tiene las siguientes características técnicas:

Longitud de cause	-	840 Km. (en Bolivia)
Caudal medio anual	-	207 m3lseg.
Volumen medio anual	-	6.5 billones m3lseg.
Área de cuenca	-	98.000 km ² (en Bolivia)
Tasa de erosión	-	1.000 tons/km2/año
Arrastre anual	-	84.000.000 tons/año (MAGDR, 2001)

El Río Pilcomayo se origina en los Andes centrales, viaja por los cañones escarpados y montañas del altiplano. La erosión en la parte superior en la Cuenca del Pilcomayo genera una carga de sedimentos elevada, la alta velocidad del río dentro de esta región impide su deposición. La actividad minera para la extracción de metales es predominante en la parte oeste de la cuenca, especialmente en el noreste cerca de Potosí, entre la subcuenca del Río San Juan del Oro y la del Río Tumusla (Pavlov, 1995).

Los tipos de minas más grandes de estas regiones son las de estaño, plata, cinc, antimonio, oro, plomo y cobre. Muchos de los sitios mineros en la cuenca del Pilcomayo son problemáticos dentro de una perspectiva ambiental. Las actividades mineras descargan residuos minerales, así como contaminantes derivados del tratamiento mineral, los cuales son vertidos a los sistemas de drenaje del río. De esta manera, los metales pesados lixiviados y muchos residuos minerales y químicos, productos del tratamiento

tal como mercurio, entran al sistema hidrológico del Río Pilcomayo causando la contaminación del mismo (Pavlov, 1995; Marquez, 1992).

3.1.2.2. La pesca en el río Pilcomayo.

La pesca comercial en el río Pilcomayo (Villamontes) se concentra en el sábalo (*Prochilodus lineatus*). Los rendimientos en estas pesquerías han sido por encima de las 2 000 toneladas en algunos años y promediaron 1 400 toneladas durante los años 1970 y 1980. En años recientes, la pesca ha disminuido en importancia, probablemente debido a factores hidrológicos, y no tanto es resultado de la contaminación minera como fue sugerido anteriormente (Smolders, 2001).

3.1.3. La contaminación y los recursos pesqueros.

El cuadro 1 resume los impactos de usos del agua sobre el recurso pesquero. Se puede apreciar que los mayores impactos están causados por metales pesados, y por tóxicos industriales. Aparte de estos efectos indirectos, existen conflictos entre usuarios (pescadores comerciales, pescadores de subsistencia, indígenas, etc.) sobre el acceso a los recursos pesqueros, y además entre estos y otros usuarios (turismo, uso recreativo), (MAGDR, 2001).

Cuadro 1. Algunos ejemplos de impactos de contaminación sobre los recursos pesqueros en las cuencas de Bolivia

Cuenca	Problemas ambientales
Río Mamoré	Los mayores problemas ambientales se sitúan en las cabeceras del río Mamoré, donde existe uso de plaguicidas, derrames de hidrocarburos y desechos de productos utilizados en la producción de cocaína. Sin embargo, los efectos de estos productos sobre los recursos pesqueros no están bien estudiados
Río Beni	Existe un problema serio de contaminación con Mercurio (Hg), utilizado durante la extracción de Oro, que se acumula en los tejidos de los peces-carnívoros, los cuales son las especies comerciales. Además, existen indicios que el transporte de sedimentos ha incrementado debido a la destrucción de los bosques ribereños.
Río Piray	El procesamiento de caña de azúcar produce desechos con una elevada demanda biológica de oxígeno. Existe también preocupación por el creciente uso de fertilizantes y plaguicidas en la cuenca.
Río Iténez-Guaporé	Posiblemente, existe un problema de sobre-pesca por parte de pescadores comerciales brasileños. En la cuenca alta, se puede vislumbrar un problema de contaminación con mercurio
Río Pilcomayo	Este río recibe los contaminantes provenientes de las zonas mineras de Potosí, Cotagaita y Tumusla. Posiblemente, el recurso pesquero está afectado por esta contaminación.
Lago Titicaca	El Lago Titicaca recibe los residuos líquidos de varias ciudades en Bolivia (El Alto) y Perú (Puno). Se estima que este tipo de contaminación afecta más que todo a las especies nativas (<i>Orestias</i>) las cuales no han evolucionado la capacidad de vivir en sistemas eutrofizados.
Lagos Poopó y Uru-Uru	Los Lagos Poopó y Uru-Uru reciben los desechos de las actividades mineras en los alrededores de Oruro. Además existe una contaminación « natural » con metales pesados. Se estima que los recursos pesqueros están afectados por la contaminación en ambos lagos.

(MAGDR, 2001).

Las industrias, en su mayoría asentadas en el centro urbano de Santa Cruz, generan una gran cantidad de efluentes líquidos que se suman a la contaminación orgánica que proviene de los alcantarillados de las áreas urbanas. Generalmente, las aguas residuales industriales y las aguas servidas urbanas se mezclan en los ríos y ambos se descargan sobre los ríos. Esto dificulta conocer el aporte a la contaminación que le corresponde a la industria. En Santa Cruz, los ingenios azucareros no cuentan con ningún tipo de tratamiento de sus efluentes líquidos y afectan la calidad del agua en el río Pirai (Ministerio de Desarrollo Sostenible, 2004; MAGDR, 2001).

Pacett, (1999) mediante un estudio demostró que anualmente por cada kilómetro cuadrado cultivado en Santa Cruz se depositan en el ambiente más de 526 kg de plaguicidas. En total, se aplican anualmente 6 763 toneladas métricas a 1 217 145 hectáreas de cultivos de soya, arroz, trigo, algodón, maíz, girasol, caña, tomate y papa. Se demostró además que los agricultores de Santa Cruz gastaron durante 1997/1998 más de 92 millones de dólares en plaguicidas sintéticos (García, 2001).

Los plaguicidas asperjados en los cultivos de Santa Cruz son de difícil descomposición. Según Pacett (1999), es muy posible que estos químicos contaminen estanques, atajados y acequias que sirven de bebederos a vacunos, caprinos y otros animales domésticos, existiendo casos de mortalidad de la fauna ictícola y al mismo tiempo intoxicaciones crónicas en las poblaciones cuando se utilizan estas aguas para consumo (MAGDR, 2001).

El problema de la contaminación del Río Pilcomayo es bastante complejo y se debe a varios factores. Entre ellos y de manera general se pueden mencionar los siguientes:

- Contaminación debido a descarga de desechos y afluentes mineros.
- Contaminación natural debido a zonas geológicas mineralizadas existentes en el área, además de drenajes ácidos y minas abandonadas.
- Contaminación a descarga de residuos industriales.
- Contaminación debido a drenaje de agroquímicos usados en las zonas agrícolas.
- Contaminación a descargas de aguas servidas sin tratamiento.
- Arrastre de sedimentos por erosión (Ventre, 1997).

En el tramo superior, dentro de los primeros 100 km, de manera general el mayor problema es sin duda la descarga de mineral, afluentes y aguas servidas sin tratamiento. En cambio la cuenca inferior el impacto ambiental se debe al arrastre de sedimento y la contaminación del lecho del río Pilcomayo que dio lugar al fenómeno de “retroceso” del mismo, en la cuenca media los problemas son una combinación de los dos anteriores. En cuanto que existe un gran número de minas que vierten directamente sus desechos en el río, sin ningún tratamiento previo y sin contar con diques de descontaminación y purificación, siendo una situación que se da desde hace mucho tiempo, desde que se inicio la exportación intensiva que los bolivianos lo denominan “Usinas” (Quevillon, 1994).

3.1.4. El Sábalo (*Prochilodus lineatus*).

El sábalo se ha adaptado a las corrientes estrechas y turbulentas de los ríos. CODETAR y la misión Rusa (1994) han descrito al *Prochilodus lineatus* del Pilcomayo, como un pez “grande, la forma del cuerpo varia y depende de su ambiente”, el lado dorsal es gris oscuro y la quijada es plateada. La aleta dorsal y la aleta caudal son de color gris oscuro y sin marca alguna, estas son características que los distinguen de las otras especies. La aleta pectoral y la aleta ventral tienen un color mucho mas claro, pueden ser amarillas o anaranjadas (Pavlov, 1995).

3.1.4.1. Ciclo vital del sábalo.

La población del *Prochilodus Lineatus* que habitan en el Pilcomayo, ocupa gracias a su conducta migratoria desarrollada, un gran territorio; desde las pantanosas zonas bajas del Gran Chaco hasta las zonas montañosas en el

altiplano. En este contexto, según CERDET, (1998) cada sector de la cuenca juega un papel diferente en la vida de la población de Sábalo:

Sector montañoso.- La aparición anual constante del Sábalo en los ríos de la zona montañosa de Los Andes es bien conocida por los habitantes del lugar y en la literatura científica. De acuerdo a la opinión generalizada, los reproductores del Sábalo ascienden a las zonas altas del río para reproducirse. El papel biológico de las zonas en la vida del sábalo se limita al desove episódico de una pequeña parte de la población.

Zona pre-cordillera.- Se ha establecido en la época de otoño - invierno (cuando el nivel del agua en el río es mínimo) tiene lugar el ascenso de los 'peces reproductores desde los sectores mas bajos del río, incluso el número de migrantes al desove es bastante significativo. De acuerdo al resultado del análisis biológico de la pesca del sábalo en este sector (Río Pilaya), demostraron que todos los ejemplares atrapados eran migrantes reproductores de esta manera se puede asegurar que el Río Pilaya durante el periodo de migración de desove aparecen los reproductores de sábalo llegando desde las zonas mas bajas del río.

Zona baja pre montañosas.- En el sector de Puerto Margarita, las condiciones de vida del sábalo son diferentes a los del Río Pilaya. La velocidad de su corriente no asciende más allá de 0,8 m/seg. Durante la época de lluvia, el río transporta gran cantidad de sedimentos, los cuales se acumulan a lo largo de sus orillas. En el sector, el Río Pilcomayo sirve de anfitrión y lugar de hospedaje al sábalo en forma permanente y año redondo, como así también de meta final de la migración de los peces durante el periodo reproductivo. El periodo de multiplicación de la mayoría de los sábalos, de Puerto Margarita, coincide con el ascenso del nivel de las aguas en verano (época de gran transporte de sedimentos), iniciándose a fines de noviembre o diciembre y concluyendo en enero.

De esta manera el sector montañoso del río en sus partes altas y bajas, posee una significación muy importante en la vida de la población del sábalo. El primer lugar, es un sector de tránsito para los reproductores migratorios, como así también para huevos y embriones arrastrados por la corriente. El segundo lugar sirve como base para la multiplicación de gran parte de la población. En tercer lugar es un bio-tipo de constante residencia y engorde de los sábalos residentes, como así también zona alimentaria extra para algunos migrantes, los que permanecen mucho tiempo en este sector del río.

Sector de la planicie.- Inmediatamente después del cañón del Angosto corriente abajo, comienza el sector en la planicie o valle del Río Pilcomayo hasta la desaparición del cauce principal en las zonas pantanosas en el territorio de la Argentina y Paraguay. Las principales particularidades del río son: velocidad de la corriente, profundidad, características de sus riveras, turbiedad, temperaturas y otros; ellos cambian poco durante todo el recorrido del sector de planicie.

Sector inferior del río.- Que empieza cercano al triángulo fronterizo (Bolivia, Argentina, Paraguay) en la región Tuzla-Pozo Hondo. El río en este sector se caracteriza por todos los aspectos que son propios al Río Pilcomayo, en su recorrido por la llanura chaqueña.

Como conclusión, en la actualidad el ciclo del sábalo del Río Pilcomayo, está representado de la siguiente manera: es una población de peces que la diferencian claramente los sectores de engorde, reproducción y tránsito (CERDET, 1998).

3.1.4.2. Conducta alimenticia del sábalo.

A diferencia del sábalo residente que se alimenta con las algas que se forman en las piedras, el sábalo migratorio se alimenta con los sedimentos

de los terrenos pantanosos de Argentina y Paraguay. El sábalo representa el 60 % de la ictiomasa de la región (Pavlov, 1995).

El sábalo esta caracterizado como un detritivoro microfago, esto se define como un organismo que se alimenta de sustancias orgánicas en estado de putrefacción. En los sistemas acuáticos neotropicales los organismos mas comunes son los detritícos siendo de gran importancia en el intercambio de energía dentro del sistema ecológico. El sábalo prefiere buscar alimentos en las zonas medias y bajas del río, estas áreas contienen muchas sustancias orgánicas y detritos más pequeños. En la parte baja del Pilcomayo, mientras los adultos se alimentan con el fango mismo los sedimentos), los peces jóvenes son mas selectivos y comen distómeas planctónicas y crustáceos. Un análisis del contenido del estomago del sábalo en la cuenca del Río de La Plata, demostró que las algas representan 1,13 %, las bacterias 0,027 % y el detrito 98% (Pavlov, 1995; Quevillón, 1994).

3.2. Contaminación por metales pesados en peces.

3.2.1. Antecedentes.

El infinito número de estos peces sirve de alimento a miles de salvajes esparcidos en ambas orillas y es un alimento predilecto, tanto para miles de chiriguano como para los criollos que habitan en las cercanías del Pilcomayo". Ya en el año 1861 el Padre Doroteo Gianneccheni en sus apuntes sobre la Historia Natural del Chaco Boliviano, habla sobre la importancia de la pesca del sábalo sobre todo en la zona de la actual Villamontes (Ventre, 1997).

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como

resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasan los niveles aceptables de la naturaleza (Doménech, 1993).

La contaminación puede surgir a partir de ciertas manifestaciones de la naturaleza (fuentes naturales) o debido a los diferentes procesos productivos del hombre (fuentes antropogénicas) que conforman las actividades de la vida diaria. Las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico más importante son: Industriales (frigoríficos, mataderos, curtiembres, actividad minera y petrolera) (García, 2001).

El agua es otro de los recursos renovables en peligro, como consecuencia de la actividad que constituye el 70% de nuestro planeta y se encuentra dispersa en los océanos, lagos, ríos, etc. en forma sólida, en los casquetes polares. Del total de agua en el mundo, solo podemos utilizar 3,35% para consumo humano. Las principales fuentes de agua utilizables en los ríos y lagunas así como en el subsuelo (MAGDR, 2001).

3.2.2. El plomo.

El plomo (Pb) es un metal gris plateado recién cortado, que se va oscureciendo en contacto con el aire; tiene peso atómico de 207,2, es muy suave y maleable, fácil de fundir, enrollar y estrujar, cuya presencia esta extendida en las aguas y en los alimentos. Intervienen en algunas alteraciones graves de salud, aún a muy pequeñas dosis provoca daños cerebrales irreversibles y daños en los sistemas que forman la sangre (Kirk, 1996).

Los niños que son expuestos crónicamente a cantidades pequeñas de plomo pueden sufrir trastornos, debido a la acumulación de este metal a largo plazo. Estudios han indicado que la exposición crónica de los niños a dosis bajas de plomo puede causar trastornos de aprendizaje, comportamiento y crecimiento disminuido. Los estudios también han revelado que el plomo puede elevar la presión arterial en los adultos (Marquez, 1992).

Las sales de plomo no solo son arrastradas por la corriente, sino que son absorbidas por los peces que pueblan el río, y en mayor grado se depositan en el fondo del cause, en los sedimentos y el barro, que por lo general son los que presentan mayor contenido de metal. El plomo en los peces se acumula principalmente en las vísceras, que son eliminadas al “destripar” el pescado, y en muy poca proporción en las partes blandas y tejido articular. Hasta el momento, según datos de la Organización Panamericana de la Salud (OPS), no se detectaron casos alarmantes de saturnismo (intoxicación crónica por plomo) ni de otros metales (Codex, 2001).

El plomo es un metal ampliamente explotado y con innumerables usos. El plomo inorgánico se utiliza en la industria de la cerámica, acumuladores, vidrio, pinturas entre las más resaltantes; y los compuestos alquímicos del plomo (tetraetilo y tetrametilo) se utilizan como aditivos antidetonantes en la gasolina (Kirk, 1996; CODEX, 2001).

El ser humano, los animales y las plantas no necesitan plomo para el crecimiento y el desarrollo normal. No se conocen funciones nutritivas o bioquímicas, sin embargo se sabe que, inhibe el crecimiento, el desarrollo y deteriora la salud del hombre. Los organismos superiores de la cadena alimentaría puede sufrir saturnismo (Intoxicación crónica por plomo), como

consecuencia de la ingesta de alimentos contaminados con plomo (Garfield, 1993).

3.2.3. Bioacumulación de metales pesados.

Los metales pesados se encuentran en la naturaleza como parte de los suelos, donde en cantidades de trazas sirven de nutrientes a las plantas o consumidores primarios de las cadenas alimenticias que apoyan a la biosfera. Esto ocurre en ecosistemas de tierra así como de agua (Kirk, 1996).

Se puede decir en términos generales que en la naturaleza es muy raro encontrar concentraciones de metales disueltos que estén en niveles elevados. Son las fuentes antropomórficas o humanas las que introducen al ambiente cantidades excesivas de metales pesados tóxicos que ponen en peligro la salud y vida de todos los seres vivos. Sin embargo, es necesario indicar que existe una tolerancia en los organismos vivos a ciertos metales pesados. La tolerancia es la capacidad de un organismo para manifestar frente a una dosis específica de una sustancia química, una respuesta menor que la que mostró en una acción anterior por la misma dosis (Kirk, 1996; Martínez, 1994).

La presencia de metales pesados en el ambiente ya sea agua, aire o tierra es indeseable sobre ciertas concentraciones y flujos de masa de estos, por el efecto adverso que tienen en la salud de los humanos y en los otros seres vivos. La presencia de metales pesados y/o tóxicos normalmente es indicación inequívoca de contaminación humana y en general. Los metales pueden jugar un papel muy importante en el metabolismo normal cuando están en concentraciones tolerables para los seres vivos. Ejemplo calcio, magnesio, cobre, sílice, etc. Existe otro grupo de metales que son

perjudiciales para el organismo y son capaces de causar efectos indeseables en el metabolismo aun en concentraciones bajas. Ejemplo plomo, cadmio, mercurio, arsénico, bario, etc (Martinez, 1994).

Las concentraciones permitidas de metales pesados dañinos para el cuerpo humano son las siguientes:

- Cadmio: 0.005 mg/L
- Plomo: 0.1 mg/L
- Cinc: 5.0 mg/L (CODEX, 2001).

Se puede decir que la toxicidad de los metales pesados no es una propiedad intrínseca del metal, sino una expresión del tipo de interacción que ocurre entre el compuesto metálico en cuestión y la célula. En los humanos hay tres metales que se bioacumulan cadmio, plomo y mercurio. Esto quiere decir que dichos metales se pueden ir acumulando en el cuerpo humano a través de los años, sin que la persona muestre señales de toxicidad. Una vez que el cuerpo humano acumula una cantidad particular que se denomina el umbral de la toxicidad, la persona empieza a mostrar los síntomas externos de intoxicación con ese metal. Por esta razón es inaceptable que haya trazas de estos metales en el agua (Garfield, 1993).

La pesca y el consumo continuo de agua dulce que contenga pequeñas concentraciones de estos metales pueden ser peligrosos a largo plazo y por lo tanto debe ser considerada como un riesgo a la salud. El plomo y otros metales se encuentran en proporciones por encima de las permitidas en la cuenca del Río Pilcomayo, por lo que es pertinente analizar su acción en el cuerpo humano (Ventre, 1997).

3.2.4. Acumulación de metales en los peces.

Los peces de aguas frescas absorben aguas a través de la agallas. Como la sangre del pez es iónicamente mas fuerte que el ambiente a su alrededor, el agua pasa a la corriente sanguínea a través de las membranas semipermeables de las agallas (Ventre, 1997).

Las aguas frescas actúan como reserva de agentes contaminadores. Los peces acumulan niveles elevados de metales de su medio ambiente por medio de la ingestión y la absorción. Estos metales pueden afectar enormemente a los peces. Los investigadores han encontrado que el consumo y la acumulación de los contaminadores dependen de la ubicación, especie, sexo, edad y la maduración de las gónadas. Otros factores ambientales como la temperatura y el potencial del hidrógeno (pH) también contribuyen a la reacción de los peces respecto a los metales pesados (Ventre, 1997; Doménech, 1993).

3.2.5. Efecto del plomo en los peces.

El plomo no es fundamental para la nutrición de los animales y se considera tóxico tanto para ellos como para las plantas; los peces acumulan plomo en su forma iónica, siendo los más susceptibles entre todos los organismos (Smolders, 2001).

Las condiciones favorables para la acumulación del plomo son:

- Tamaño pequeño
- pH reducido
- Temperaturas elevadas
- Exposición crónica o permanente

- El sedimento como la alimentación (Martínez, 1994).

Una vez ingerido, el plomo no se rechaza fácilmente. Varios estudios han observado cambios físicos y de costumbre en los peces debido a la intoxicación. Con respecto a la conducta, las manifestaciones de las intoxicaciones por el plomo en los peces pueden ser hiperactiva y/o natación regular. También se notó que los peces llegaban a la superficie mas frecuente debido a la inhibición de la actividad de acetilcolinesterasa. Una señal anterior de envenenamiento debido al plomo es la presencia de moco en las agallas. A nivel celular el plomo inhibe a los sistemas biológicos e interfiere con los componentes esenciales de cinc y cobre (Martínez, 1994; Márquez, 1992).

3.2.6. Factores contribuyentes de los niveles de plomo.

Merlin y Pozzi (1977), escribieron sobre el papel importante que desarrolla el pH en la acumulación de plomo en los peces. Encontraron que un nivel de pH bajo da como resultado una concentración de plomo con tres veces más elevada que cuando el pH es más alto. Esto se atribuyó a la interacción sobre la solubilidad del plomo y la permeabilidad de las agallas. En el estudio realizado en 1995 (Características de la Cuenca del Río Pilcomayo), el análisis de la calidad del agua identifica valores de PH muy bajos (Ventre, 1997).

Las temperaturas altas del agua aceleran la acumulación del plomo, esto se ha atribuido al aumento de la tasa metabólica y de la investigación de las agallas en tales condiciones (Smolders, 2001).

Las concentraciones de plomo parecen estar conectados a la relación entre superficie y volumen, como resultado, los peces más pequeños pueden tener un nivel de toxicidad más alto (Quevillon, 1994).

Las variaciones en la toxicidad de plomo también se atribuyen a la naturaleza migratoria y a los hábitos de alimentación de las diferentes especies, la ingestión de comidas y alimentos contaminados de plomo produjeron el aumento de los niveles de este metal en los peces. El hecho de que los sábalos se alimentan en el fondo del río puede contribuir a elevar estos niveles. Existieron discrepancias, sin embargo, en cuanto a este argumento. Demayo *et al* (1978) han notado que muy poco del plomo ingerido se retiene, más bien son las agallas las que se han identificado como el camino principal para la transmisión del plomo (Smolders, 2001; Ventre, 1997).

3.2.7. Normativas para niveles de plomo en pescado.

Para el consumo humano hay solamente normas para algunos elementos, debido al hecho que los efectos en el ser humano, por el consumo de peces con niveles elevados de metales pesados, son pocos conocidos. Sin embargo las siguientes normas están reconocidas para el consumo del pescado:

- Plomo 500 ppb (Normas Holandesa)
- Cadmio 50 ppb (Normas Holandesa)
- Mercurio 1000 ppb (Normas Holandesa), (Smolders, 2001).

Estas normas son válidas para la parte del pez que se consume, es decir: el músculo y la grasa y no así para el pez entero. También la Comisión del Codex Alimentarius, en el volumen XVII, página 19, una referencia sobre límites de plomo en los alimentos, mediante la cual, la ingesta semanal

tolerable provisional para el plomo en alimentos debe ser de 0,05 mg/kg de peso corporal (CODEX, 2001).

3.3. Espectrometría de absorción atómica.

3.3.1. Fundamentos.

Cuando una solución de sal metálica se rocía con niebla fina sobre una flama, el disolvente de las gotitas se evapora de inmediato dejando partículas de la sal no ionizada, que se evaporan. Si no se efectúan fenómenos secundarios, la sal gaseosa se disocia parcialmente en átomos metálicos gaseosos. Si estos átomos reciben suficiente energía de la flama, serán excitados a un nivel energético superior y al llegar a la parte más fría de la flama, emitirán esta energía de excitación como radiación a una longitud de onda característica de estos átomos metálicos. La medición de esa emisión es la base de la espectrometría de emisión de flama (AOAC, 1996).

El mismo autor indica que la mayoría de los elementos metálicos muestran esa emisión a la longitud de onda del UV, pero el sodio, potasio, litio y los alcalinotérreos la emiten a longitud de onda visible. La medición de la radiación visible emitida se conoce por lo general como fotometría de flama. Sin embargo, una gran mayoría de átomos metálicos gaseosos permanece energéticamente en su estado basal no excitado. Si la radiación que tiene su longitud de onda de resonancia característica (excitación) pasa a través de la flama, los átomos absorberán selectivamente esta longitud de onda. Por consiguiente, el rayo de luz tendrá una intensidad reducida, en proporción al número de átomos en estado basal que atraviese la flama. La medición de esta absorción luminosa es el fundamento de la espectrometría de absorción atómica.

La fuente de energía de resonancia más común para la absorción atómica, es la lámpara catódica al vacío. Es un bulbo de vidrio de borosilicato que contiene neón o argón a baja presión con un cátodo en forma de cilindro del gas inerte son acelerados hacia el cátodo, chocan contra él y ocasionan la emisión de energía de resonancia de átomos excitados del metal (AOAC, 1996; Garfield, 1993).

En la espectromía de absorción atómica, donde todos los átomos en la trayectoria de luz absorben la radiación, es más importante producir llamas homogéneas y reguladas con una larga trayectoria de absorción de luz y se usan quemadores del tipo de premezclado. En estos la solución de la muestra es rociada por medio de un fino nebulizador en una cámara que contiene mezclados los gases combustibles. Se eliminan las gotas grandes y la niebla fina es mezclada con los gases que se van a quemar antes de pasar a la larga y fina cabeza del quemador. Para la espectrofotometría de flama se necesitan temperaturas superiores a los 2000° C. esto puede lograrse por combustión de varias mezclas de combustibles y gases oxidantes (AOAC, 1996).

En el cuadro 2 se dan datos espectroscópicos de absorción atómica de algunos elementos comunes.

Cuadro 2. Condiciones de operación de la absorción atómica

Elemento	Tipo de flama	Corriente (m A) de lámpara	Longitud de onda (n m)	Paso de luz (n m)
Cadmio	A-A	4	228.8	0.5
Plomo	A-A	5	217.0	1.0
Cobre	A-A	4	852.1	0.5
Titanio	N-A	20	364.3	0.5
Plata	A-A	4	328.1	0.5
Zinc	A-A	5	213.9	1.0

Donde:

A-A = aire – acetileno

N-A = oxido nitroso – acetileno (AOAC, 1996).

3.3.2. Referencia: Método A.O.A.C. 972.23.

3.3.2.1. Preparación de reactivos, material y equipos.

Reactivos:

- Agua destilada
- Ácido Clorhídrico 1 N
- Ácido nítrico 1 N.
- Soluciones estándar de plomo
 - o Solución madre.- 1000u- Pb/mL. Disolver 1.5985g de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ recristalizado en aproximadamente 500mL de HNO_3 1N en un frasco volumétrico de 1 L y diluir al Volumen con HNO_3 1 N.
 - o Solución de trabajo.- 10u - Pb/mL. Pipetear 10mL de la solución madre en un frasco volumétrico de 1 L, añadir 82 mL de HCl y diluir a volumen con agua.

Materiales:

- Cuchillas
- Bolsas de polietileno
- Papel maskin
- Papel filtro
- Crisoles de porcelana
- Volumétricos de 25 mL clase A
- Pipetas graduadas de 5 ml, clase A
- Embudos de vidrio
- Espátulas metálicas

- Envases de plástico de 30 mL con tapa hermética

Equipos:

- Balanza analítica, sensibilidad $\pm 0,0001$ g
- Procesador de alimentos
- Hornallas eléctricas
- Mufla eléctrica con control de temperatura, capacidad 1200°C
- Espectrofómeto de Absorción Atómica ESPECTRA AA 10
- Lámpara de plomo (AOAC, 1996).

3.3.2.2. Blanco de reactivos.

Antes de proceder con el análisis, es necesario preparar un blanco de reactivos colocando todos los reactivos que ingresan al procedimiento y operando de la misma manera que se realiza con las muestras (AOAC, 1996).

3.3.2.3. Preparación de la muestra.

Pesar aproximadamente 25 g (lo más cerca de 0,1 g) de muestra en un crisol, y secar 2 horas a $135\text{-}150^{\circ}\text{C}$. Colocar el control de temperatura y revisar que la temperatura se mantenga a 500°C (una temperatura de 50°C puede causar pérdida de plomo). Incinerar toda la noche (16 h). Sacar la muestra, dejar enfriar a temperatura ambiente, cuidadosamente añadir 2 mL de HNO_3 y agitar. Evaporar cuidadosamente justo hasta sequedad en hornalla caliente o baño de vapor. Transferir a horno frío, lentamente aumentar la temperatura a 500°C y mantener esta temperatura por 1 h. Sacar el crisol y enfriar. Repetir el incinerado con HNO_3 si es necesario, hasta obtener ceniza libre de carbono. Añadir 10 mL de HCl 1 N y disolver la ceniza calentando cuidadosamente en hornalla caliente. Transferir a un frasco volumétrico de 25 mL. Calentar el residuo de ceniza sucesivamente

con porciones de 5 mL de HCl 1 N y añadir al frasco. Enfriar, diluir al volumen con HCl 1 N. Colocar las condiciones óptimas del e de AA para la lectura de plomo y realizar las lecturas (AOAC, 1996).

3.4. Otros trabajos realizados en Bolivia.

Quevillon M.; Groves R. y Castro R, en 1997 realizaron un estudio sobre “Concentración de plomo en la sangre humana y diferentes partes del sábalo”. El objetivo general fue: fortalecer las organizaciones sociales de la cuenca y propiciar su articulación a escala nacional e internacional a través de un aporte técnico en la investigación del sábalo desde la óptica de la contaminación, brindando elementos técnicos precisos y confiables para el planteamiento de sus demandas de desarrollo y protección tanto del río como de sus recursos que tengan una base sólida. Los resultados encontrados por estos autores se resumen en el cuadro siguiente.

Cuadro 3. Concentraciones promedio de plomo para las diferentes partes del sábalo obtenidos en los observatorios de Canadá y La Paz

Partes del Pez	Canadá Concentración de plomo en mg/Kg.	La Paz-Bolivia Concentración de plomo en mg/Kg.
Vísceras	2.15 (riñón)	1.60 (Hígado)
Músculo	0,23	0,33
Huesos	5,63	7,35

Sobre este trabajo, Quevillon y col, (1997) indicaron que la parte del pescado donde se acumulan el plomo en una mayor concentración son los huesos seguido por las viseras y los músculos respectivamente. Comparando los

datos obtenidos en Canadá, el nivel de concentración de plomo concentrado el año 1996 (5,56 mg/Kg) con el nivel del año 1997 (6.96mg/Kg), se evidencia un incremento de 1,4 mg/Kg (25% con respecto al valor de 1996. Entre las posibles causas que dan lugar a un incremento de la concentración del plomo con respecto al año 1996 se encuentran varias, entre ellas los tóxicos arrojados por las empresas mineras en la cabecera de la cuenca. Existen probabilidades de que algunos efectos por la contaminación de metales tóxicos en peces se manifiesten a largo plazo. Por esta razón es importante realizar un monitoreo permanente.

Smolders, en 1998 realizó un estudio con la universidad Católica de Nijmegen (Holanda), Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho” (Tarija), y Ambio Chaco (Villamontes), en dicho estudio se evaluó la contaminación por plomo en el pez sábalo tanto del Río Pilcomayo como del Río Bermejo. Los resultados del estudio de la contaminación por plomo en pez sábalo fueron los siguientes:

Parte Pescado	Pb (ppb) Pilcomayo	Pb (ppb) Bermejo
Hígado	398	164
Riñón	464	329
Intestino	899	154
Bronquio	73	24
Opérculo	2311	917
Músculo	199	69
Grasa	353	7

Velásquez, Galvan, J.,(2002), en un estudio determinó los niveles de plomo en pescados provenientes de los ríos Pilcomayo y Río Grande. Los

resultados obtenidos alcanzaron una media de 0,223 mg-Pb/kg en los pescados provenientes del río Pilcomayo. El contenido de plomo (mg-PB/kg) en los pescados provenientes del Río Grande fue de 0,207 como promedio a nivel de músculo del pez sábalo. No observó diferencias estadísticas significativas en la concentración de plomo en los peces provenientes de ambos ríos.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. Materiales.

4.1.1. Ubicación geográfica del área de estudio.

El trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología de Alimentos (CIDTA) de la UAGRM, ubicado en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, provincia Andrés Báñez del departamento de Santa Cruz. Esta provincia se encuentra en la parte centro occidental de departamento. Latitud 17 ° 47' de latitud sur, longitud 63° longitud Oeste del meridiano de Greenwich. Limita al Norte con las provincias Warnes y Sara, al Sur con las provincias Cordillera y florida, al este con las provincias Chiquitos y Ñuflo de Chávez contando como límite natural el curso del Río Grande o Guapay, al Oeste con la provincia Ichilo. Se encuentra a 437 msnm, existe una precipitación pluvial de 1130 mm y la temperatura anual promedio es de 26 °C. (Mayser, 1991).

4.1.2. Unidad de muestreo.

Se trabajó con muestras de pescados sábalo (*Prochilodus lineatus*), obtenidas de manera representativa y al azar de los ríos Pilcomayo y Río Grande, pertenecientes a las cuencas hidrográficas del Plata y Amazonas respectivamente.

Se determinó tomar 12 muestras de cada región por razones estadísticas, ya que un número menor a 10 implica tener que tomar un factor de corrección y por lo tanto se correría el riesgo de la confiabilidad del diseño estadístico. Para ello se utilizó la siguiente fórmula estadística para poblaciones infinitas:

$$n = \frac{z^2 \sigma^2}{d^2}$$

donde:

n = Tamaño de la muestra.

Z = Coeficiente de confiabilidad 0,95 % (1,96).

σ = Desviación estándar de la población (0,035, valor obtenido de una muestra piloto, cuyo coeficiente de variación es 13%)

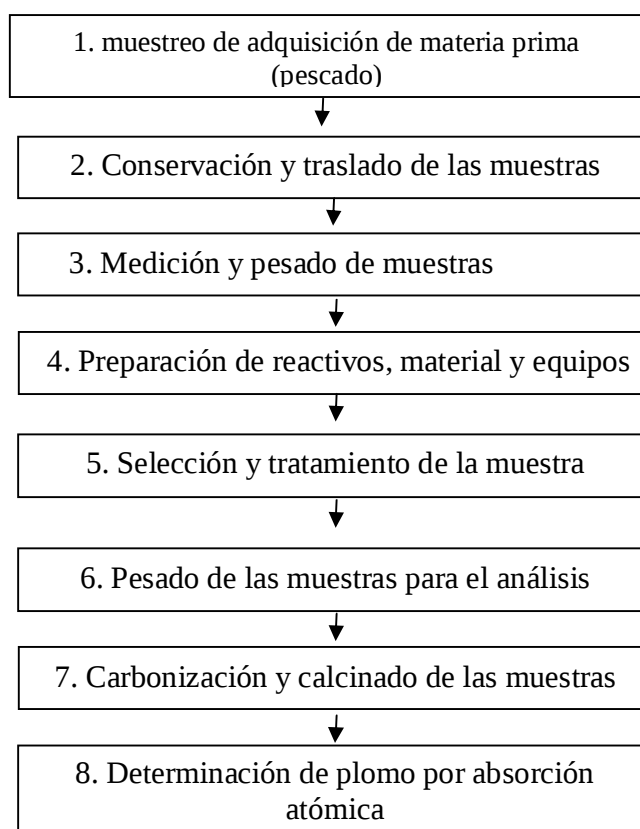
d^2 = Margen de error permitido entre el estimador y el parámetro de 0,02.

4.2. Métodos.

4.2.1. Modelo experimental.

El modelo experimental utilizado para el desarrollado del presente trabajo de investigación se detalla en el siguiente esquema:

Esquema 1. Modelo experimental



4.2.2. Método de campo.

- a) **Obtención de la materia prima.-** Se obtuvieron 12 muestras de pescado del Río Grande, las cuales fueron adquiridas en la localidad de Pailón del departamento de Santa Cruz, mediante un muestreo al azar y representativo de diferentes expendedores, procurando muestrear de acuerdo al tamaño y peso. Asimismo se obtuvo 12 muestras de pescado del río Pilcomayo, obtenidas en Villamontes de diferentes comerciantes asegurándose de la procedencia.
- b) **Conservación y traslado de las muestras.-** Luego de adquirir las muestras estas fueron colocadas en un conservador con hielo y posteriormente trasladadas al laboratorio de vallecito. Las muestras de pescado provenientes de las dos fuentes serán almacenadas en un congelador a -10°C , para su conservación hasta su análisis.
- c) **Medición y pesado de muestras.-** Todas las muestras de pescado previo análisis laboratorial, fueron medidas en su longitud total y longitud transversal; para tal medición se utilizó una cinta métrica. Posteriormente se procedió al pesado de las mismas utilizando una balanza de laboratorio, registrándose las medidas y pesos.
- d) **Selección y tratamiento de la muestra. -** Se seleccionó la parte media de las muestras por encontrarse en ella la mayor cantidad de músculo, procediéndose a la descarnación y trituración mediante el procesador de alimentos.
- e) **Pesado de la muestra para el análisis.-** El pesado de muestras se realizó en una balanza analítica. La cantidad de muestra utilizada fue aproximadamente de 25 gramos. Las muestras fueron pasadas en crisoles de porcelana previamente tarados.

- f) Carbonización y calcinación de las muestras.-** Las muestra pesadas previamente, fueron carbonizadas utilizando hornallas eléctricas; en este proceso se elimina toda la materia orgánica. Posteriormente se procedió a la calcinación de la muestra utilizando una mufla eléctrica, la temperatura de calcinación será de 550°C.
- g) Determinación de plomo por absorción atómica.-** Para la determinación de plomo en pescado, se utilizó el método oficial de la A.O.A.C.

4.2.3. Método de laboratorio.

La cuantificación de plomo en músculo de sábalos se determinó mediante el método oficial de la AOAC 972.23 (Association of Oficial Analytical Chemists), el de Absorción Atómica – AA Tubo grafito en los laboratorios del Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología de Alimentos (CIDTA) de la UAGRM.

4.2.4. Diseños estadísticos.

Para comparar la media de la muestra con el nivel máximo tolerable de plomo en carne, se utilizó el siguiente estadístico de prueba:

$$T = \frac{\bar{x} - u}{S_x}$$

Para minimizar la probabilidad de cometer error tipo I se utilizará un α 0,05 y para comparar el T calculado con el T de tablas se utilizaron valores de límites unilaterales (cola a la derecha).

Para comparar los niveles de plomo en músculo entre los pescados del Río Grande y Pilcomayo con 12 repeticiones por tratamiento (doce pescados) se efectuó el análisis estadístico con la siguiente prueba:

$$T = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Para minimizar la probabilidad de cometer error tipo I se manejó un α 0,05.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Niveles de plomo en pescados sábalo del Río Grande.

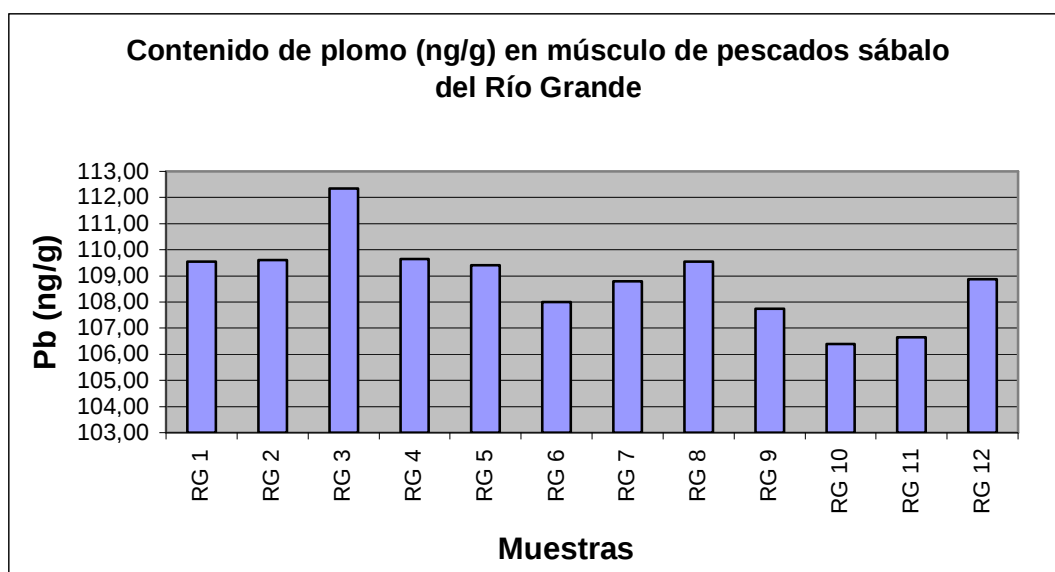
La concentración de plomo en músculo de pescados sábalo (*Prochilodus lineatus*) fue determinada a partir de una unidad experimental de 12 peces provenientes del Río Grande, de la localidad de Pailón del departamento de Santa Cruz, a través de la técnica de Absorción Atómica en los laboratorios del CIDTA de la UAGRM. En las unidades muestrales analizadas se obtuvo una media de 382,24 g de peso por pescado, con una longitud promedio de 25,82 cm; la concentración promedio de plomo (Pb) fue de 108,88 ng/g, con una desviación estándar de 1,58, un error estándar de la media de 0,46 y con un intervalo de confianza al 95% para la media de 107,87 – 109,88 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de plomo en pescados sábalo (*Prochilodus lineatus*) del Río Grande
(Mayo - agosto 2005)

Muestra	Peso (g)	Longitud (cm)	Contenido de plomo (ng/g)
RG 1	352,00	25,50	109,55
RG 2	356,50	25,80	109,60
RG 3	414,20	27,00	112,35
RG 4	348,13	24,50	109,65
RG 5	403,85	26,20	109,40
RG 6	429,10	25,80	108,00
RG 7	401,05	26,20	108,80
RG 8	384,80	26,30	109,55
RG 9	374,30	25,50	107,75
RG 10	398,10	26,00	106,40
RG 11	364,90	25,00	106,65
RG 12	360,00	26,00	108,88
Media	382,24	25,82	108,88
SD			1,58
ESM			0,46
IC 95%			107,87 - 109,88

De acuerdo a la variabilidad de la concentración de plomo de las 12 muestras analizadas, se observó una concentración mínima de 106,40 ng/g y una máxima de 112,35 ng/g, cuyos niveles se encuentran dentro de lo permitido para el consumo humano según la normativa Holandesa de 500 ppb. Esta normativa es válida para la parte del pez que se consume, es decir el músculo y la grasa y no así para el pez entero. La Comisión del Codex Alimentarius, indica una referencia sobre los límites de plomo en los alimentos, mediante la cual, la ingesta semanal tolerable provisional para el plomo en alimentos debe ser de 0,05 mg/kg de peso corporal.

El siguiente diagrama de barras esquematiza el comportamiento de los niveles de plomo en el pescado proveniente del Río Grande.



Los resultados promedios de concentración de plomo del presente trabajo son inferiores por los encontrados por Velásquez, 2002, en su estudio de la determinación de niveles de plomo en pescados provenientes de los ríos Pilcomayo y Río Grande, encontró 0,207 mg/kg de plomo en peces sábalo

del Río Grande, cuya media muestra que los niveles de plomo se encuentran dentro de los niveles permitidos por normas internacionales.

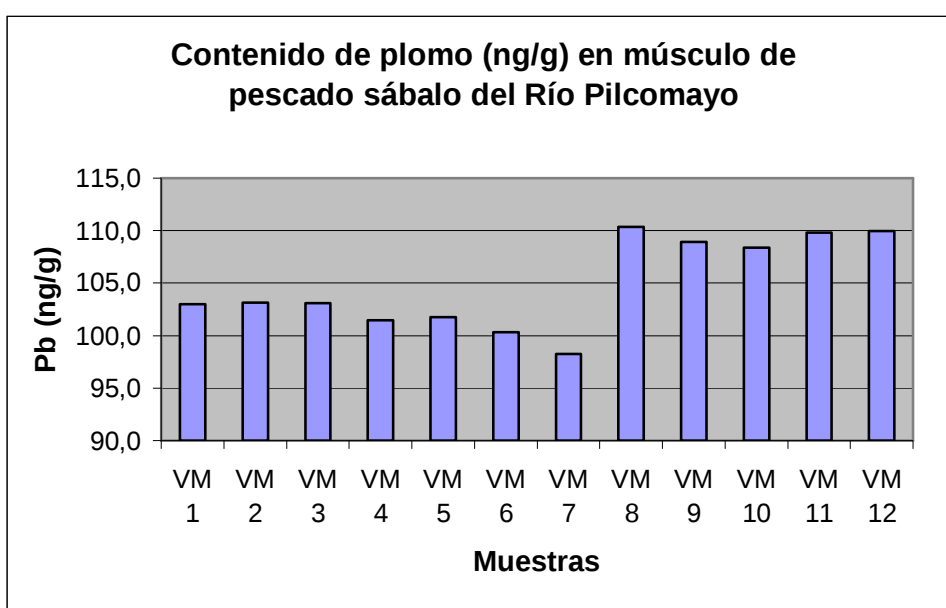
5.2. Niveles de plomo en pescados sábalo del río Pilcomayo.

La concentración de plomo en músculo de pescados sábalo (*Prochilodus lineatus*) pertenecientes al Río Pilcomayo, provenientes de la localidad de Villamontes del departamento de Tarija, a partir de 12 muestras analizadas mediante la técnica de Absorción Atómica en los laboratorios del CIDTA de la UAGRM, promediaron un peso de 447,75 g y una longitud de 27,59 cm. La concentración promedio de plomo (Pb) fue de 104,87 ng/g, con una desviación estándar de 4,3; un error estándar de la media de 1,24 y un intervalo de confianza al 95% para la media de 102,13 – 107,60 (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de plomo en pescados sábalo (*Prochilodus lineatus*) del Río Pilcomayo
(Mayo - agosto 2005)

Muestra	Peso (g)	Longitud (cm)	Contenido de plomo (ng/g)
VM 1	486,95	28,00	103,00
VM 2	421,09	26,50	103,15
VM 3	438,24	28,20	103,10
VM 4	470,18	28,40	101,45
VM 5	402,57	26,50	101,75
VM 6	422,70	26,00	100,35
VM 7	421,35	27,50	98,25
VM 8	435,75	27,00	110,35
VM 9	412,12	26,50	108,90
VM 10	491,10	29,00	108,40
VM 11	475,90	28,30	109,80
VM 12	495,03	29,20	109,95
Media	447,75	27,59	104,87
SD			4,3
ESM			1,24
IC 95%			102,13 - 107,60

El diagrama 2 muestra el comportamiento de los niveles de plomo en el pescado proveniente del Río Pilcomayo, observándose una concentración mínima de 98,25 ng/g y una máxima de 110,35 ng/g. Este rango está dentro de lo permitido para el consumo humano según la normativa Holandesa de 500 ppb.



Los valores promedio de concentración de plomo en los pescados del río Pilcomayo encontrados en el presente trabajo, son inferiores en relación con el valor promedio de otros estudios similares realizados por otros investigadores.

En el año 1994, Quevillon y col, en un estudio de la Evaluación de la contaminación del sábalo por metales en el río Pilcomayo, encontraron un promedio general de 5.5620 ppm de plomo en el cuerpo entero del pez. El 92% de las muestras de prueba contenían valores de plomo que excedían el nivel

máximo permisible en la proteína de los peces (0.5 ppm, nivel máximo para la proteína de los peces).

Hodson et al. (1984) discuten un estudio que ha determinado concentraciones de plomo en el cuerpo entero de la perca amarilla y de los lagos Notario y Erie. Estas muestras tuvieron un promedio de 0,21 ppm de plomo en el pez entero. En este estudio, en el sábalo encontraron un promedio de 562 ppm, casi 23 veces más que las concentraciones en la perca. Aunque el plomo no se acumule primariamente en el músculo, se puede predecir que los humanos pueden estar en alto riesgo de intoxicación.

Estos resultados dieron a entender que es válida la preocupación de que la población del sábalo en el río Pilcomayo contenga niveles de plomo peligrosos para el consumidor.

Otro estudio realizado por Groves y col., (1997), sobre la concentración de plomo en sangre humana y diferentes partes del sábalo del río Pilcomayo, mostró los siguientes resultados: las concentraciones promedio de plomo para las diferentes partes de sábalo obtenidas en el laboratorio de Canadá indicaron: en vísceras (riñón) 2.15 mg/kg, músculos 0,23 mg/kg y huesos 5,63 mg/kg. En el laboratorio de la ciudad de La Paz se obtuvo en vísceras (hígado) 1,60 mg/kg, músculos 0,33 mg/kg y huesos 7,35 mg/kg.

La concentración de plomo presentada para músculos en el caso de Canadá, es el promedio de seis muestras determinadas por los equipos de análisis, las restantes 24 muestras presentan concentraciones por debajo del límite de detección que es 0,2 mg/kg, de esta situación se puede concluir que el 80% de las muestras de músculos analizadas en el Canadá presentan concentraciones

de plomo inferiores a 0,2 mg/kg y el restante 20% concentraciones con un promedio de 0,23 mg/kg.

Estos resultados, del análisis en las diferentes partes del sábalo, presentan coincidencias importantes en ambos laboratorios en cuanto a la concentración de plomo. La parte del pescado donde se acumula el plomo en mayor concentración son los huesos, seguido por las vísceras y los músculos respectivamente. En este trabajo la concentración encontrada en los músculos no presenta riesgos potenciales de intoxicación para el consumo de la misma por parte de la población.

Otro estudio realizado en 1998, por la universidad Católica de Nijmegen (Holanda, Universidad Autónoma Juan Misael Caracho (Tarija), analizaron la contaminación por plomo en el pez sábalo en el río Pilcomayo. A nivel de músculo encontraron 199 ppb (partes por billón) de plomo.

Velásquez, 2002, en un estudio de la determinación de niveles de plomo en pescados provenientes de los ríos Pilcomayo y Río Grande, encontró 0,223 mg/kg de plomo en peces sábalo del río Pilcomayo, cuya media muestra que los niveles de plomo se encuentran dentro de los niveles permitidos por normas internacionales. Dichos resultados le permitieron concluir que no existe contaminación por plomo en el tejido muscular de los pescados provenientes del río Pilcomayo (Villamontes).

5.3. Comparación de la concentración de plomo en peces sábalos de los ríos Pilcomayo y Río Grande.

Las concentraciones promedio de plomo en músculo de pescados sábalo del río Pilcomayo y del Río Grande fueron de 104,87 ng/g ($\pm 1,24$) y 108,88 ng/g

($\pm 0,46$) respectivamente, con una diferencia de la media de 4,011 ng/g ($\pm 1,325$) con un intervalo de confianza al 95% de -6,76 a -1,26, demostrándose diferencia estadística significativa ($P < 0,05$), (Cuadro 3).

Cuadro 3. Concentración de plomo en músculo de pescados sábalo (*Prochilodus lineatus*) del Río Pilcomayo y Río Grande

(Mayo - agosto 2005)

Procedencia	Nº	Media (ng Pb/g)	$\pm$ ESM	I.C. 95%
Río Pilcomayo	12	104,87	1,24	
Río Grande	12	108,88	0,46	
Promedio	24	4,011	1,325	-6,76 a -1,35

($P < 0,05$)

Analizando la hipótesis planteada en el presente trabajo, referida a que los niveles de plomo en los pescados del río Pilcomayo son semejantes a los niveles de plomo de los pescados del Río Grande ($U_1 = U_2$), se rechaza dicha hipótesis, ya que los niveles de plomo de los pescados del río Pilcomayo son inferiores a los niveles de plomo de los pescados procedentes del Río Grande.

La menor concentración observada en el promedio de plomo en músculo de sábalo del río Pilcomayo en relación a la media del Río Grande, posiblemente se debe a la disminución de la contaminación por el sector de Villamontes o que el metal (plomo), se estaría acumulando en otro sector del pescado (vísceras y tejido óseo); asimismo, se puede deducir que el Río Grande presenta actualmente mayores niveles de contaminación por metales pesados.

Los resultados del presente trabajo difieren con los obtenidos por Velásquez, (2002), quien no evidenció diferencia estadística significativa en el contenido de plomo en músculos de peces sábalo provenientes del río Pilcomayo y del Río Grande

VI. CONCLUSIONES.

De acuerdo a la metodología y procedimientos de laboratorio utilizados en el presente trabajo de investigación, los resultados obtenidos nos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

La concentración promedio del nivel de plomo en tejido muscular de pescados provenientes del río Pilcomayo ($104,87 \pm 1,24$ ng Pb/g) y del Río Grande ($108,88 \pm 0,46$ ngPb/g) se encuentran dentro de los límites permitidos por normas internacionales, por tanto se consideran como productos alimenticios no contaminados, aptos para el consumo humano.

La diferencia de las medias del nivel de plomo en músculo de sábalo ($4,01 \pm 1,32$ ngPb/g) del río Pilcomayo y del Río Grande, permite determinar que los pescados provenientes del Río Grande presentan una mayor concentración, observándose una diferencia estadística significativa.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo presentan medias del nivel de plomo en músculo de sábalo relativamente inferior a resultados anteriores conseguidos por otros investigadores.

La contaminación de las aguas, al constituirse en un desastre ecológico si no también de importantes pérdidas para la economía del País y de fuentes de trabajo, sin mencionar el riesgo en la salud de los pobladores que viven en las cercanías de los ríos consumiendo de sus aguas y sus pescados, sugiere continuar con estos estudios que determinen el nivel de plomo en peces de otras cuencas hidrográficas del País.

VII. BIBLIOGRAFÍA.

A.O.A.C., 1996. Métodos Oficiales Analíticos, Th 16 ed., Baltimore, EE.UU.

Centro de Estudios Regionales Para el Desarrollo de Tarija, CERDET.
1998. Pilcomayo Estudios sobre la contaminación, Ed. Orlando Erazo Campos, Tarija, Bolivia.

CEPAL, 2001. “Recomendaciones de las Reuniones Internacionales sobre el agua: de Mar del Plata a Paris”, LC/R. 1865, 30 de Octubre de 1998.

CODEX. 2001. Norma Sanitaria. El CODEX Alimentarius. ALADI.

Domenech, Xavier. 1993. Química ambiental. El impacto ambiental de los residuos. Madrid: Ediciones Miraguano, Obra divulgativa sobre los residuos en el agua, suelo y atmósfera.

García Luis, 2001. “Hacia una estrategia del Banco Interamericano de Desarrollo para la gestión integrada de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe”; BID.

Garfield F. M. 1993. “Principios de Garantía de Calidad para Laboratorios Analíticos” Trad. G. García A., Edición española.

Kirk R. S., 1996. Composición y análisis de los alimentos de Pearson. Compañía Editorial Continental S. A., México.

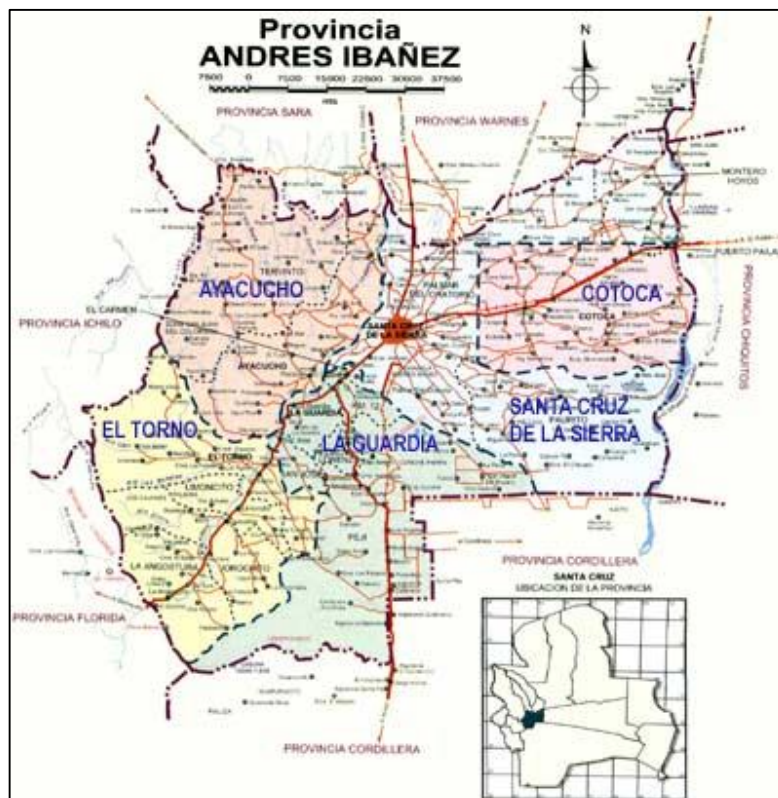
MAGDR-PRONAR. 2001. Mapa de Ordenamiento hidroecológico de Bolivia, Correlación con niveles de pobreza y degradación de recursos naturales renovables. La Paz, Bolivia.

- Márquez A., 1992.** Contaminación por metales, XII Jornadas Bioquímicas, Potosí Bolivia.
- Martínez M., 1994.** Intoxicación por plomo-Alternativas terapéuticas, Unidad de Salud Ocupacional de Carabobo. Maracay Venezuela.
- Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. 2004,** Situación ambiental del Río Pilcomayo, Seminario Taller, Sucre-Bolivia.
- Navarro, G y Maldonado, M. 2002.** Geografía Ecológica de Bolivia: Vegetación y Ambientes Acuáticos. Editorial: Centro de Ecología Simón I. Patiño-Departamento de Difusión Cochabamba, Bolivia. 719 p.
- Pavlov. K.F. Dzeryinski, 1995.** Proyecto estudio del sábalo del río Pilcomayo. Informe anual gestión 1994. Convenio CODETAR-Academia de Ciencias de Rusia. Villamontes, Bolivia. Pp. 95.
- Quevillon,M.; Gib, C. Dogsteron, J. 1994.** El río Pilcomayo, una evaluación de la contaminación de metales en el pez *Prochilodus paltensis* (sábalo), un alimento básico para los guaraníes de Itika Guasu.
- Smolders. J.P. 2001.** El río Pilcomayo y la contaminación minera. Editado en Holanda. Pp. 20.
- Smolders J.P., 1998.** La contaminación del Río Pilcomayo y el pez sábalo (*Prochilodus lineatus*) con metales pesados. Universidad Católica de Nijmegen (Holanda), Universidad Autónoma "Juan Misael Saracho" (Tarija), Ambio Chaco (Villa Montes).
- Ventre, M. 1997.** La Contaminación del Pilcomayo. ABC Color-Asunción Paraguay.

Velásquez, G.J. 2002. Determinación de niveles de plomo en pescados provenientes de los ríos Pilcomayo y Río Grande. Tesis de Maestría. Universidad Andina Simón Bolívar. Sucre-Bolivia.

ANEXOS

ANEXO 1.
UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE TRABAJO



ANEXO 2 CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE BOLIVIA

