

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
INSTITUTO DE ECOLOGÍA
POSTGRADO EN ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN**



**“BIOACUMULACIÓN Y BIOMAGNIFICACIÓN DE MERCURIO
EN DIFERENTES POBLACIONES DE PECES
DE LA AMAZONÍA BOLIVIANA”**

**TESIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAGISTER
OF SCIENTIAE EN ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN**

PRESENTADO POR: ESTHER IVONNE LÓPEZ SIANGAS

**LA PAZ – BOLIVIA
2005**

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE CIENCIAS PURAS Y NATURALES
POSTGRADO EN ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN**

**“BIOACUMULACIÓN Y BIOMAGNIFICACIÓN DE MERCURIO EN
DIFERENTES POBLACIONES DE PECES
DE LA AMAZONÍA BOLIVIANA”**

**TÉSIS PARA OBTENER EL GRADO DE MAGISTER
OF SCIENTIAE EN ECOLOGÍA Y CONSERVACIÓN**

PRESENTADO POR:

ESTHER IVONNE LÓPEZ SIANGAS

TUTORES :

Ph.D. Marc Roulet

Ph.D. Jesús Nuñez

TRIBUNAL REVISOR :

Msc. Rafael Anze Martin

Ph.D. Jean Remy Guimaraes

COORDINACIÓN DEL POSTGRADO :

Lic. Rubén Marín Pantoja

DIRECTOR DEL INSTITUTO DE ECOLOGÍA :

Ph.D. Mario Baudoin Weeks

**LA PAZ – BOLIVIA
2005**

DEDICATORIA

*A la memoria de mi adorado papá Armando,
quién con su humildad y sencillez, me
mostró el camino del amor y la bondad*

AGRADECIMIENTOS

Un sincero y profundo agradecimiento a los excelentes profesionales y amigos que asesoraron y revisaron este trabajo, en especial al Dr. Marc Roulet, que me acogió en el Proyecto "Hidrología de la Cuenca Amazónica" del Institut de Recherche pour le Développement (IRD) y me acompañó con una dedicación, alegría y optimismo inigualables a lo largo de estos tres años; al Dr. Jesús Nuñez del Proyecto "Genoma, Población y Medio Ambiente en Peces de la Cuenca Amazónica boliviana" del IRD, quién con su amabilidad y experiencia enriqueció mis conocimientos, al Lic. Msc. Rafael Anze, experto en medio ambiente, quién brindó toda su atención al mejoramiento de la tesis y al Dr. Guimaraes, investigador de reconocida trayectoria en el tema del mercurio en la Amazonía brasileña, y quién aceptó con mucho agrado ser mi revisor.

Al Institut de Recherche pour le Développement (IRD), que financió el trabajo de investigación y de cuya institución recibí todo el apoyo logístico y humano. Al Postgrado en Ecología y Conservación perteneciente al Instituto de Ecología (IE-UMSA), a los Coordinadores y Docentes, quienes en la labor de formar profesionales especialistas cumplen con una gran labor como es el de contribuir al desarrollo de nuestro país.

Esta investigación, me ha permitido llegar a importantes Centros de Investigación como el Laboratorio de Limnología, donde recibí un apoyo pleno del Lic. Julio Pinto, Claudio Rosales, Carlos Molina, Martha Gutiérrez y Carmen Mendoza; el Laboratorio de Biología de Peces, dirigido muy eficazmente por el Dr. Jesús Nuñez, y el laboratorio de Calidad Ambiental, donde se contó con la colaboración del Ing. Jaime Chincheros, Bryan Gonzáles y Hugo Guerrero.

Un especial reconocimiento a la Lic. Lucía Alanoca, cuyos amplios conocimientos y experiencia fueron determinantes para la obtención de una metodología apropiada de detección de mercurio en peces y a su esposo, el Lic. Juan García, de quién recibí una acertada información para la interpretación estadística.

No me puedo olvidar de la ayuda que me brindaron las personas en el campo y la ardua labor que en conjunto se realizó para la recolección de peces y muestras junto al Dr. Jesús Nuñez, Frederick Mahe, Fabrice Duponchelle, Laurent Pouyaud, Marc Legendre, Juan Choquecallata, Alfredo Parada y Tomás Suárez.

Finalmente, a mi querida familia a mis papas Armando y Natividad, por su gran cariño, y por haberme dado la educación y formación que gracias a ellos tengo, a mis pequeños hijos Christian y Álvaro, a quienes les agradezco mucho por su amor y comprensión por el tiempo que pasé lejos de ellos mientras realizaba esta investigación y a Daniel, mi esposo quién me dió toda su confianza y paciencia.

A cada persona mi eterna gratitud.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

	RESÚMEN	Pág.
1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS	5
2.1.	OBJETIVO GENERAL	5
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3.	ÁREA DE ESTUDIO	5
3.1.	CUENCA DEL AMAZONAS	5
3.1.1.	Cuenca del Iténez	7
3.1.2.	Cuenca del Mamoré	8
3.1.3.	Cuenca del Madre de Dios	9
4.	METODOLOGÍA	10
4.1.	MUESTREO EN CAMPO	10
4.1.1.	Recolección de muestras	10
4.1.2.	Registro de datos biométricos	11
4.1.3.	Colecta del estómago, tejido muscular y otolitos	12
4.2.	ANÁLISIS DE LABORATORIO	13
4.2.1.	Determinación del contenido estomacal	13
4.2.2.	Determinación de la edad	14
4.2.3.	Determinación del mercurio	16
4.2.3.1.	Secado de muestras	17
4.2.3.2.	Proceso de digestión	17
4.2.3.3.	Lectura del mercurio	18
4.3.	ANÁLISIS DE DATOS	19
4.3.1.	Análisis descriptivo	19
4.3.2.	Análisis estadístico	20
4.3.2.1.	Descripción de la metodología	20
4.3.2.2.	Normalización y transformación de datos	21
4.3.2.3.	Diseño del registro de datos	22
4.3.2.4.	Análisis de Regresión Múltiple	22
4.3.2.5.	Determinación de los modelos	24
4.3.2.6.	Comparación por el largo y edad estandarizada	25
4.4.	FACTOR DE BIOMAGNIFICACIÓN (BMF)	25

	Pág.
5. RESULTADOS	27
5.1. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN <i>Colossoma macropomum</i> (Pacú)	27
5.1.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO	27
5.1.1.1 Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad	27
5.1.1.2. Relación de la bioacumulación de mercurio y el crecimiento	28
5.1.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	30
5.1.2.1. Relación de la concentración de mercurio y la longitud	30
5.1.2.2. Relación de la concentración de mercurio y la edad	33
5.2. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN <i>Cichla monoculus</i> (Tucunaré)	35
5.2.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO	35
5.2.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad	35
5.2.1.2. Relación de la bioacumulación de mercurio y el crecimiento	37
5.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38
5.2.2.1. Relación de la concentración de mercurio y la longitud	38
5.2.2.2. Relación de la concentración de mercurio y la edad	41
5.3. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN <i>Pygocentrus nattereri</i> (Piraña)	43
5.3.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO	43
5.3.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad	43
5.3.1.2. Relación entre la bioacumulación de mercurio y el crecimiento	45
5.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	46
5.3.2.1. Relación de la concentración de mercurio y la longitud	46
5.3.2.2. Relación de la concentración de mercurio y la edad	49
5.4. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Surubí)	52
5.4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO	52
5.4.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad	52
5.4.1.2. Relación de la bioacumulación de mercurio y el crecimiento	53
5.4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
5.4.2.1. Relación de la concentración de mercurio y la longitud	55
5.4.2.2. Relación de la concentración de mercurio y la edad	57

	Pág.	
5.5	BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN <i>Piaractus brachipomus</i> (Tambaquí)	60
5.5.1.	ANÁLISIS DESCRIPTIVO	60
5.5.1.1.	Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad	60
5.5.1.2.	Relación de la bioacumulación de mercurio y el crecimiento	61
5.6.	BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN <i>Plagioscion squamosissimus</i> (Corvina)	61
5.6.1.	ANÁLISIS DESCRIPTIVO	61
5.6.1.1.	Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad	61
5.6.1.2.	Relación de la bioacumulación de mercurio y el crecimiento	63
5.7.	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE BIOMAGNIFICACIÓN (BMF)	64
5.7.1.	BIOMAGNIFICACIÓN DE MERCURIO ENTRE ESPECIES	64
5.7.2.	BIOMAGNIFICACIÓN ENTRE PISCÍVOROS Y NO PISCÍVOROS	65
6.	DISCUSIÓN	66
6.1.	ACUMULACIÓN DE MERCURIO POR LONGITUD ESTÁNDAR, PESO Y EDAD	66
6.2.	ACUMULACIÓN DE MERCURIO Y ALIMENTACIÓN	67
6.3.	ACUMULACIÓN DE MERCURIO Y CRECIMIENTO	73
6.4.	ACUMULACIÓN DE MERCURIO Y MADUREZ SEXUAL	75
6.5.	ACUMULACIÓN DE MERCURIO EN HEMBRAS Y MACHOS	76
6.6.	MODELOS DE ACUMULACIÓN DE MERCURIO	76
6.7.	INTERCEPTOS Y PENDIENTES	79
6.8.	LONGITUD Y EDAD ESTANDARIZADA	80
6.9.	BIOMAGNIFICACIÓN DE MERCURIO (BMF)	82
7.	CONCLUSIONES	85
8.	RECOMENDACIONES	88
9.	BIBLIOGRAFÍA	89
	ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa Hidrográfico de Bolivia (Montes de Oca, 1997), y ubicación de los puntos de muestreo en las cuencas del Iténez Mamoré y Madre de Dios Campañas: abril a diciembre de 2002.	6
Figura 2. Cuenca del Iténez a) Vista panorámica del río San Martín (Bella Vista): Río de aguas transparentes b) Ubicación de los puntos de muestreo.	7
Figura 3. Cuenca del Mamoré a) Vista panorámica del río Sécore: Río de aguas blancas b) Ubicación de los puntos de muestreo.	8
Figura 4. Cuenca del Madre de Dios a) Lago Bay (Subcuenca del Manuñpi): Aguas negras b) Ubicación de los puntos de muestreo.	9
Figura 5. Recolección de muestras en campo a) Disección del tejido muscular para la determinación del contenido de mercurio b) Extracción del otolito en la especie <i>Colossoma macropomum</i> (Pacú) para la determinación de la edad.	12
Figura 6. Determinación del hábito alimenticio a) Contenido estomacal en <i>Colossoma macropomum</i> (Pacú) b) Contenido estomacal en <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Surubí). Laboratorio de Limnología-UMSA.	14
Figura 7. Determinación de la edad a) Tinción de otolitos mediante el método de inclusión en resina b) Observación de las bandas de crecimiento en vértebra de <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> .	15
Figura 8. Modelización de la curva de crecimiento en <i>Pygocentrus nattereri</i> (Piraña), en la cuenca del Mamoré, según el modelo de Von Bertalanffy.	16
Figura 9. Digestión en Baño María de las muestras de los músculos de los peces en peso seco.	18
Figura 10. Lectura del contenido de mercurio en muestras a) Equipo de absorción atómica (PERKIN ELMER 3110) b) Lectura de muestras por el método FIAS. Laboratorio de Calidad Ambiental - UMSA.	19
Figura 11. Diagrama de flujo para el análisis estadístico de los datos de concentración de mercurio (Basado en Tremblay et al., 1998).	21
Figura 12. Concentración de mercurio en <i>Colossoma macropomum</i> , para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar respecto a la alimentación. b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002	27
Figura 13. Crecimiento de <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento. c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a diciembre de 2002.	29
Figura 14. Relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en <i>Colossoma macropomum</i> . a) Cuenca del Iténez. b) Cuenca del Mamoré. Campañas: abril a octubre de 2002.	30
Figura 15. Modelos ajustados de la absorción de mercurio, en relación a la longitud estándar, en <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. a) Relación de datos en base logarítmica b) Relación de datos originales. Campañas: abril a diciembre de 2002.	31
Figura 16. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la longitud estandarizada (300, 500 y 850 mm), en <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña abril-diciembre de 2002.	32
Figura 17. Modelo ajustado de la absorción de mercurio, en relación a la edad, en <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación de datos en base logarítmica b) Relación de datos originales. Campañas: abril a diciembre de 2002.	34
Figura 18. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la edad estandarizada (4, 8 y 12 años para <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril-diciembre de 2002.	35

	Pág.
Figura 19. Concentración de mercurio en <i>Cichla monoculus</i> , para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar respecto a la alimentación. b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002.	36
Figura 20. Crecimiento de <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento. c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio Campañas: abril a diciembre de 2002	37
Figura 21. Relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en <i>Cichla monoculus</i> . a) Cuenca del Iténez b) Cuenca del Mamoré. Campañas abril a octubre de 2002.	38
Figura 22. Modelo ajustado de la absorción de mercurio en relación a la longitud estándar en <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	39
Figura 23. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la longitud o largo estandarizado (200, 300 y 380 mm), en <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios Campaña: abril- diciembre de 2002.	40
Figura 24. Modelo ajustado de la absorción de mercurio en relación a la edad para <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campañas: abril a diciembre de 2002.	42
Figura 25. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la edad estandarizada (1, 2 y 3 años), para <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	43
Figura 26. Concentración de mercurio en <i>Pygocentrus nattereri</i> , para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar respecto a la alimentación. b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002.	44
Figura 27. Crecimiento de <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento. c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a diciembre de 2002.	45
Figura 28. Relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en <i>Pygocentrus nattereri</i> . a) Cuenca del Iténez. b) Cuenca del Mamoré. Campañas: abril a octubre de 2002.	46
Figura 29. Modelo ajustado de la absorción de mercurio, en relación a la longitud estándar en <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. a) Relación de dato transformados a raíz cuadrada b) Relación de datos originales (eliminando la raíz cuadrada). Campañas: abril a diciembre de 2002.	48
Figura 30. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la longitud o largo estandarizado (150, 200 y 240 mm), en <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña. abril-diciembre de 2002.	49
Figura 31. Modelo ajustado de la absorción de mercurio, en relación a la longitud estándar, en <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré. a) Relación de dato transformados a raíz cuadrada b) Relación de datos originales (eliminando la raíz cuadrada). Campañas: abril a diciembre de 2002.	51
Figura 32. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la edad estandarizada (150, 200 y 240 mm), en <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campaña: abril-diciembre de 2002.	51
Figura 33. Concentración de mercurio en <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar respecto a la alimentación. b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril-diciembre de 2002	53

	Pág.
Figura 34. Crecimiento de <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré. a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a octubre de 2002.	54
Figura 35. Relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> . a) Cuenca del Iténez. b) Cuenca del Mamoré Campañas: abril a octubre de 2002.	54
Figura 36. Modelo ajustado de la absorción de mercurio en relación a la longitud estándar para <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril-diciembre de 2002.	56
Figura 37. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la longitud o largo estandarizado (450, 600 y 700 mm), en <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios Campaña: abril-diciembre de 2002.	57
Figura 38. Modelo ajustado de la absorción de mercurio en relación a la edad para <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campañas: abril a diciembre de 2002.	58
Figura 39. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la edad estandarizada (2 y 4 años), para <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril-diciembre de 2002.	59
Figura 40. Concentración de mercurio en <i>Piaractus brachipomus</i> . para la cuenca del Mamoré. a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar de acuerdo a la alimentación y sexo b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002	60
Figura 41. Crecimiento de <i>Piaractus brachipomus</i> , en la cuenca del Mamoré. a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento. c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a octubre de 2002.	61
Figura 42. Concentración de mercurio en <i>Plagioscion squamosissimus</i> para la cuenca del Mamoré a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar de acuerdo a la alimentación y sexo b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a octubre de 2002	62
Figura 43 Crecimiento de <i>Piaractus brachipomus</i> , en la cuenca del Mamoré. a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento. c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a octubre de 2002.	63
Figura 44. Factor de biomagnificación de mercurio (BMF) de las especies piscívoras: <i>Cichla monoculus</i> (Tucunará), <i>Pygocentrus nattereri</i> (Piraña) y <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> (Surubi) en relación a la especie no piscívora: <i>Colossoma macropomum</i> (Pacú), para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios Campaña: abril- diciembre de 2002.	64
Figura 45. Factor de biomagnificación de mercurio (BMF) entre especies piscívoras y no piscívoras para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	6
Tabla 2. Características fisicoquímicas de las aguas de las cuencas de los ríos Iténez, Mamoré y Madre de Dios.	10
Tabla 3. Lugar y fecha de recolección de muestras en las cuencas de los ríos Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	10
Tabla 4. Especies, hábito alimentario y número de peces colectados en las cuencas de los ríos Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Clasificación basada en Lauzanne L. y Loubens G. (1985). Campaña: abril a diciembre de 2002.	11
Tabla 5. Transformaciones óptimas de datos, utilizada para cada especie de las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios.	21
Tabla 6. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la longitud estándar para <i>Colossoma macropomum</i> , en la cuenca del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	30
Tabla 7. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la longitud estándar y la concentración de mercurio en <i>Colossoma macropomum</i> . Campaña: abril a diciembre de 2002.	31
Tabla 8. Forma y posición de las curvas de los parámetros longitud versus concentración de mercurio, para <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios.	32
Tabla 9. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	32
Tabla 10. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la edad para <i>Colossoma macropomum</i> en la cuenca del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	33
Tabla 11. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la edad y la concentración de mercurio en <i>Colossoma macropomum</i> . Campaña: abril a diciembre de 2002.	33
Tabla 12. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro: edad.	34
Tabla 13. Comparación de la absorción de mercurio por la edad estandarizada al 95 % de probabilidad en <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	35
Tabla 14. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la longitud estándar para <i>Cichla monoculus</i> en la cuenca del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	38
Tabla 15. Detalle de análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la longitud estándar y la concentración de mercurio en <i>Cichla monoculus</i> . Campaña: abril a diciembre de 2002.	39
Tabla 16. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro longitud estándar.	40
Tabla 17. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en <i>Colossoma macropomum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	40

	Pág.
Tabla 18. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la edad para <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	41
Tabla 19. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la edad y la concentración de mercurio en <i>Cichla monoculus</i> . Campaña: abril a diciembre de 2002.	41
Tabla 20. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para <i>Cichla monoculus</i> , en las Cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios.	42
Tabla 21. Comparación de la absorción de mercurio por la edad estandarizada al 95 % de probabilidad en <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	43
Tabla 22. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la longitud estándar para <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	46
Tabla 23. Análisis de varianza de la relación de la acumulación de mercurio y la longitud estándar, para <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	47
Tabla 24. Análisis de Varianza para los interceptos y pendientes para <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro longitud estándar.	48
Tabla 25. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	49
Tabla 26. Análisis de varianza de la acumulación de mercurio en relación al parámetro longitud estándar para <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campaña: abril a diciembre de 2002.	49
Tabla 27. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la edad y la concentración de mercurio en <i>Pygocentrus nattereri</i> . Campaña: abril a diciembre de 2002.	50
Tabla 28. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para <i>Cichla monoculus</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro edad	51
Tabla 29. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en <i>Pygocentrus nattereri</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	52
Tabla 30. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la longitud estándar para <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	55
Tabla 31. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la longitud estándar y la concentración de mercurio en <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> . Campaña: abril a diciembre de 2002.	55
Tabla 32. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro longitud estándar.	56
Tabla 33. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.	57

	Pág
Tabla 34. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la edad para <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.	57
Tabla 35. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la edad y la concentración de mercurio en <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> . Campaña: abril a octubre de 2002	58
Tabla 36. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré para el parámetro edad.	59
Tabla 37. Comparación de la absorción de mercurio por la edad estandarizada al 95% de probabilidad en <i>Pseudoplatystoma fasciatum</i> , en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campaña: abril a octubre de 2002.	59

SUMMARY

The bioaccumulation of mercury regarding the size, weight and age, as well as the influence of biological aspects such as the feeding, the growth, the sexual maturity and the sex, were determined in six species of piscivorous and non piscivorous fishes with regional importance: *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña), *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), *Plagioscion squamosissimus* (Corvina), *Colossoma macropomum* (Pacú) and *Piaractus brachipomus* (Tambaquí), in the basins of the rivers Iténez, Mamoré and Madre de Dios of the Bolivian Amazon.

The statistical models of the levels of mercury accumulation, were found by means of the analysis of polynomial regression with indicative variables based on Tremblay *et al.* (1998), and the analysis of lineal regression with test variables that has been fitted to the present study, using the possibilities that offers the statistical software STATGRAPHICS *Plus*. The statistical differences among the mercury accumulation for the length and age, for species and basin, were analyzed according to the longitude and standardized age, using a confidence interval of 95% of the mean level of mercury.

The bioaccumulation of mercury presented positive correlations among the mercury concentration for the standard longitude, the weight and the age, in all the study species, except in the specie *Plagioscion squamosissimus* (Corvina), where was not found a relationship among this variables that is probably because the opportunists habits of the specie or some mechanism of present bio - dilution in their organism. The sexual maturity, had influence in the growth and in the growth rate, and consequently in the accumulation of mercury. In the species: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) and *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), the growth rate was related negatively with the mercury accumulation. In the six studied species, only, the individuals bigger than 600 mm of standard longitude in *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), collected in the basin of Madre de Dios, surpassed the permissible limit of consumption, recommended by the Health World Organization (OMS) of 500 ng of Hg/g.

The smallest Factor in Biomagnification of mercury between piscivorous and non piscivorous species, as well as among the four species collected in the three study basins: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) and *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), was presented in the basin of the Mamoré, however the models of mercury accumulation in *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré) and *Pygocentrus nattereri* (Piraña), show the smallest levels in the basin of the Iténez. The Madre de Dios basin shows statistically intermediate or similar levels of mercury to the basins of the Iténez and Mamoré. The species: *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), on the other hand showed statistically similar levels of mercury in the basins of the Iténez, Mamoré and Madre de Dios. The different levels of mercury present in the fish species of the three basins can be influenced by the characteristics of the hydrosystems like the kind of water and the flood surface.

The statistical comparison models and the conclusive results of the present study, carried out with the support and collaboration of the "Institut of Recherche pour le Développement (IRD)", as well as of the "Institute of Ecology of the Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)", are tools with great utility and importance for the investigations related with the bioaccumulation of mercury and the dynamics of the mercury, since they are constituted in the unique work of this nature carried out in the Amazon region.

RESÚMEN

La bioacumulación de mercurio respecto al tamaño, peso y edad, así como la influencia de aspectos biológicos como la alimentación, el crecimiento, la madurez sexual y el sexo, fueron determinadas en seis especies de peces piscívoros y no piscívoros de importancia regional: *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña), *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), *Plagioscion squamosissimus* (Corvina), *Colossoma macropomum* (Pacú) y *Piaractus brachipomus* (Tambaquí), en las cuencas de los ríos Iténez, Mamoré y Madre de Dios de la Amazonía boliviana.

Los modelos estadísticos de los niveles de acumulación de mercurio, se encontraron a través del análisis de regresión polinomial con variables indicadoras basado en Tremblay *et al.* (1998), y el análisis de regresión lineal con variables de prueba, que ha sido ajustado en el presente estudio, utilizando las posibilidades que ofrece el paquete estadístico STATGRAPHICS Plus. Las diferencias estadísticas entre la acumulación de mercurio por el largo y edad, por especie y cuenca, se analizaron de acuerdo a la longitud y edad estandarizada, utilizando un intervalo de confianza del 95% del nivel medio de mercurio.

La bioacumulación de mercurio presentó correlaciones positivas entre la concentración de mercurio por la longitud estándar, el peso y la edad, en todas las especies en estudio, excepto en la especie *Plagioscion squamosissimus* (Corvina), donde no se encontró una relación entre dichas variables, que probablemente se deba a los hábitos oportunistas de la especie o algún mecanismo de biodilución presente en su organismo. La madurez sexual, tuvo influencia en el crecimiento y en la tasa de crecimiento, y consecuentemente en la acumulación del mercurio. En las especies: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), la tasa de crecimiento está relacionada negativamente con la acumulación de mercurio. En las seis especies estudiadas, solamente, los individuos mayores a los 600 mm de longitud estándar en *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), recolectados en la cuenca del Madre de Dios, sobrepasaron el límite permisible de consumo, recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 500 ng de Hg/g.

El menor Factor de Biomagnificación de mercurio entre especies piscívoras y no piscívoras, así como entre las cuatro especies recolectadas en las tres cuencas de estudio: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), se presentó en la cuenca del Mamoré, sin embargo los modelos de acumulación de mercurio en *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré) y *Pygocentrus nattereri* (Piraña), muestran los menores niveles en la cuenca del Iténez. La cuenca del Madre de Dios muestra niveles de mercurio intermedios o similares estadísticamente a las cuencas del Iténez y Mamoré. La especie: *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), por el contrario estadísticamente mostró niveles de mercurio similares en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Los distintos niveles de mercurio presentes en las especies de peces de las tres cuencas pueden estar influenciados por las características de los hidrosistemas como el tipo de agua y la superficie de inundación.

Los modelos estadísticos de comparación y los resultados concluyentes del presente estudio, llevado adelante con el apoyo y colaboración del "Institut de Recherche pour le Développement (IRD)", así como del Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA)", son herramientas de gran utilidad e importancia para las investigaciones relacionadas con la bioacumulación de mercurio y la dinámica del mercurio, puesto que se constituyen en el único trabajo de esta naturaleza realizado en la región Amazónica.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación por mercurio de los ríos de la cuenca Amazónica, se constituye en un problema cada vez más preocupante. El mercurio puede tener origen en fuentes naturales como las emisiones volcánicas o termales, la mineralización de algunas rocas, la erosión de los suelos o en fuentes de origen antropogénico, como las extracciones mineras y las actividades agrícolas desarrolladas bajo técnicas no sostenibles (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2001b).

En los suelos de la Amazonía, se estima que más del 97% de mercurio, es de origen natural, haciendo a los suelos, el mayor reservorio de mercurio natural de la región. El mercurio proveniente de estos suelos, ingresa a los ecosistemas acuáticos, aumentando históricamente los niveles de mercurio en los hidrosistemas de la Amazonía. Las áreas de inundación, promueven la producción y acumulación de metilmercurio, lo que puede elevar la cantidad disponible de metilmercurio en la Amazonía (Roulet *et al.*, 1998a, 2001a).

En la Amazonía boliviana, las principales causas del incremento de la contaminación por mercurio son las erosiones naturales, las actividades de explotación aurífera y los chaqueos. Según reportes de FOBOMADE (1992), uno de los principales problemas ambientales es la erosión de los suelos, que son muy frágiles en el país, por otra parte, la deforestación de bosques viene aumentando a un ritmo estimado superior a las 200.000 hectáreas anuales, debido principalmente a la ampliación de la frontera agrícola. La mayor deforestación se produce en la región del Chapare, para extender los cultivos, y en los Yungas se realizan quemas anuales de la vegetación (chaqueo), para el establecimiento de cultivos y la renovación de los pastos.

La erosión de los suelos, puede ser responsable de una importante liberación de mercurio, transportado por las partículas que drenan a las aguas, la cual es más significativa en época de lluvias. En los tributarios andinos, la contaminación debido a las erosiones naturales, se magnifica por las altas pendientes existentes, y es acelerado por ciertas actividades humanas, como el cultivo sobre chaqueo, con una pérdida de la cobertura vegetal de los suelos, lo cual ocasiona deposiciones elevadas de sedimentos a los hidrosistemas. La contaminación por mercurio, puede provenir también, de las actividades de la explotación aurífera. En los últimos 50 años, se han desechado por lo menos 20 toneladas de mercurio al medio ambiente, y es utilizado de una forma inadecuada, un 50% es emitido a la atmósfera durante la quema de la amalgama, un 30% es desechado a orillas de los ríos, y en el mejor de los casos se recupera un 20% (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2001a, 2001b).

Si bien la extracción minera, ha sido motivo de muchos estudios por la liberación de mercurio al medio ambiente, recientes investigaciones, concluyen indicando que la contaminación, no se debe a una eliminación directa de mercurio a los hidrosistemas, sino, ésta se atribuye a la remoción y eliminación de

toneladas de sedimentos o sólidos suspendidos finos a los ríos en el transcurso de los aluviones auríferos, observándose una contaminación de origen natural y antrópico (Fostier *et al.*, 2000 y Maurice Bourgoïn, 2001b). Aguas abajo, de la actividad minera, se observó que la materia de partículas finas de mercurio, decrece cuando alcanza la zona de sedimentación, y disminuye a lo largo del río debido a una progresiva decantación de finas partículas determinadas por las condiciones limnológicas, la contaminación de la minería aurífera, es local, aproximadamente a unos 50 km de la actividad minera (Roulet *et al.*, 1998b).

El mercurio inorgánico, para ser acumulado y entrar a la cadena alimentaria, requiere de una transformación biótica o abiótica a su forma orgánica de metilmercurio (Malm, 1999), esta transformación puede desarrollarse en los sedimentos, los suelos, la columna de agua y medios húmedos, en presencia de materia orgánica. La mayor parte de este proceso se desarrolla gracias a la intervención de microorganismos (Jensen y Jernelöv, 1969, Beckert *et al.*, 1974, St. Louis *et al.*, 1994 citados por Roulet, 2001c).

El mercurio, en su forma de metilmercurio, es uno de los metales más tóxicos, pequeñas cantidades, son suficientes para contaminar comunidades enteras de peces, no es esencial para los procesos metabólicos, sin embargo es fácilmente acumulado por muchos organismos (Parks, 1988; Parks *et al.*, 1989; D'Itri, 1990 citado por Meili, 1991). Este compuesto es distribuido totalmente dentro de los animales debido a que tiene un alto potencial para pasar las membranas biológicas, en contraste al mercurio inorgánico que principalmente se acumula en los tejidos de las vísceras. Debido a esta dinámica fisiológica y a una alta afinidad por las proteínas, el metilmercurio, es fácilmente acumulado en los organismos durante la transferencia a lo largo de la cadena alimentaria (Meili, 1991, 1997).

El proceso de bioacumulación, consiste, en la proporción de la concentración de mercurio acumulada en el tejido de los peces. El proceso de biomagnificación, es la acumulación del químico en las especies, de acuerdo a su nivel trófico en la cadena alimentaria (Brugeman, 1982 citado por Castilhos y Bidone, 2000). En el ecosistema acuático, el poder de bioacumulación depende de los diferentes niveles en la cadena trófica: fitoplancton, zooplancton, peces herbívoros, omnívoros y piscívoros.

La concentración de metilmercurio en relación al mercurio total, crece en los niveles tróficos, de proporciones menores al 1% en las plantas al 99% en peces. Así, por ejemplo, en el río Tapajós, uno de los afluentes principales del Amazonas, en donde las aguas de los ríos y lagunas inundadas presentan niveles de mercurio menores al 5%, en la cadena trófica, estos niveles se van incrementando a niveles mayores, en epifiton (algas, animales sésiles, bacterias y partículas) de 1.5 a 8.3%; en fitoplancton el 15%; en zooplancton del 14 al 71% (Roulet *et al.*, 2000b) y en tejidos de los peces

aproximadamente entre el 95 a 99% (Grieb *et al.*, 1990; Bloom, 1992 citado por Neumann y Scott, 1999; Karl *et al.*, 2001).

El metilmercurio, es absorbido por los peces, a través de la alimentación (por el tracto digestivo), directamente del agua o de los sedimentos, es así que la biomagnificación del mercurio en los peces esta fuertemente relacionada con su habito alimentario, siendo el mercurio que toman del agua de menor importancia (Mathers y Johansen, 1985). Finalmente el metilmercurio, alcanza al hombre, a través del consumo de los peces (IPCS, 1989 citado por Lebel *et al.*, 1996, 1997). Investigaciones realizadas en la Amazonia Brasileña, indican que las poblaciones ribereñas, van acumulando continuamente el metilmercurio por medio de la ingestión de los peces, demostrando efectos neurotóxicos sobre las funciones motoras y daños citogenéticos, muchos de estos daños han sido encontrados en poblaciones expuestas a bajos niveles de mercurio por largos períodos de tiempo (Boischio *et al.*, 1995; Lebel *et al.*, 1996; Amorim *et al.*, 2000 y Dolbec *et al.*, 2000).

Los niveles de mercurio, parecen ser controlados por la geoquímica de los hidróxidos de hierro y aluminio de los suelos, del material en suspensión y de los sedimentos (Roulet *et al.*, 1998a, 1999, 2000a). Los hidróxidos de hierro y aluminio contenidos en las arcillas, tienen alta capacidad para absorber metales pesados como el mercurio, y por procesos de podzolización y erosión selectiva se produce su disolución, liberando el mercurio absorbido, hacia el medio ambiente acuático (Carmouze *et al.*, 2001). Los sedimentos son sitios primarios de metilación, por lo que se han encontrado mayores niveles de mercurio en aquellos sistemas que llevan en sus aguas mayor cantidad de sedimentos y sólidos suspendidos (D'tri, 1990 citado por Meili, 1991).

Por otra parte, estudios recientes realizados por Guimaraes *et al.* (2000a, b), indican que la época de inundación en ambientes de la Amazonía brasilera, estimulan la producción y biodisponibilidad de metilmercurio dentro de la cadena alimentaria. La metilación se incrementa en los suelos de los bosques inundados y las raíces de las praderas flotantes, sedimentos y epifiton unidos a la mezcla de materia orgánica con partículas de sedimentos órgano-minerales provenientes de los ríos. Es así, que los bosques de inundación, presentan sitios potenciales de metilación, con producciones altas de metilmercurio, incluso mayores que en la columna de agua y sedimentos de las zonas abiertas de ríos y lagos.

En la cuenca del río Beni, se realizaron algunos estudios sobre la contaminación de mercurio, desde regiones mineras hasta Rurrenabaque, los resultados han reportado contaminaciones altas de mercurio en diversas especies de peces, el 86% de los peces piscivoros sobrepasan los límites permisibles expresados por la Organización Mundial de Salud (OMS), de 500 ng de Hg/g. La gente que fue más afectada por los elevados niveles de mercurio, no fue precisamente la que trabaja directamente

con la extracción del oro, sino aquella, que tiene una alimentación regularmente de peces, siendo las más afectadas las poblaciones indígenas que se dedican únicamente a la pesca (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2000b y Alanoca, 2001).

Aunque existen varios estudios, sobre la relación entre el tamaño de los peces y el nivel de acumulación de mercurio, se desconoce o se conoce muy poco sobre la influencia de aspectos biológicos, como la edad, el sexo, la madurez sexual, la alimentación y el cambio de hábito alimentario en la bioacumulación y biomagnificación del mercurio en los peces de acuerdo al nivel trófico que ocupan dentro de la cadena alimentaria. Por otra parte, si bien, se han realizado muchas investigaciones en sistemas acuáticos de la Amazonía y en otras regiones del mundo, donde se investiga la acumulación en reservorios o represas, en nuestro medio se ha estudiado principalmente la contaminación de los hidrosistemas acuáticos, por la influencia de las actividades mineras. No existen estudios de la contaminación natural de mercurio en la ictiofauna de las cuencas del Mamoré, Iténez, y Madre de Dios.

El estudio, se llevó a cabo en las cuencas de los ríos Iténez, Mamoré, y adicionalmente, y a objeto de comparación, se estudiaron muestras de la cuenca del Madre de Dios. La cuenca del Mamoré ubicada en la llanura beniana, presenta cada año una inundación promedio de cuatro meses, inundando así, la llanura de la cuenca alta del río Madera, la superficie afectada es de 100.000 a 150.000 kilómetros cuadrados, según la variabilidad hidrometeorológica anual (Roche *et al.*, 1988). Las tres cuencas de estudio, llevan en su cauce aguas de diferente calidad, el Mamoré, aguas "blancas" de origen Andino con altos contenidos de sedimentos, el Iténez, aguas "claras" provenientes del Escudo Brasileño, y el Madre de Dios, en la subcuenca del río Manuripi: aguas oscuras o "negras".

El contenido del mercurio, fue analizado en seis especies de peces, cuatro de ellos recolectados en las tres cuencas: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí) y dos especies únicamente en la cuenca del Mamoré: *Piaractus brachipomus* (Tambaquí) y *Plagioscion squamosissimus* (Corvina). Estas especies, tienen diferentes hábitos alimentarios, ocupan distintas posiciones en la red trófica, y son de importancia local, por constituirse en la base de la alimentación diaria de las poblaciones indígenas y ribereñas a estos ríos y una fuente de proteínas en su alimentación.

De lo anterior, deriva la importancia de la realización del presente estudio, que permitirá encontrar y comprender la dinámica de la bioacumulación y biomagnificación del mercurio en peces que tienen distintos hábitos alimentarios y de este modo, establecer modelos estadísticos de relación entre la acumulación de mercurio por la edad y el tamaño de los peces, con el fin de tener predicciones para las tres cuencas de estudio y por otra parte, poder interpretar y comparar los niveles de acumulación de mercurio con otras especies y lugares de estudio.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo de investigación, se ha desarrollado bajo los siguientes objetivos:

2.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la bioacumulación y biomagnificación de mercurio, en diferentes poblaciones de peces de las Cuencas de los ríos Iténez, Mamoré y Madre de Dios, para establecer modelos de comparación.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso, y la edad de los peces en estudio.
- Evaluar la influencia del hábito alimentario, el sexo y la madurez sexual de los peces sobre la bioacumulación de mercurio.
- Determinar la biomagnificación del mercurio en las distintas poblaciones de peces que presentan diferentes hábitos alimentarios.

3. AREA DE ESTUDIO

3.1. CUENCA DEL AMAZONAS

La cuenca Amazónica boliviana, está ubicada en el nororiente del territorio nacional, en ella discurren los ríos más importantes por los volúmenes de agua que fluyen en sus cauces, su navegabilidad, su aprovechamiento potencial y por ser la más extensa geográficamente, abarcando una superficie de 722.137 km², que representa el 65,7% del territorio Nacional (SNHN, 1998).

El conjunto de la cuenca, se extiende en un 25% en la Cordillera Oriental de los Andes, el 48% en la llanura adyacente y el 27% en el Escudo Brasileño. Las aguas corren así, por zonas de relieve, litología, clima y vegetación muy variadas, que le confieren características muy diversas (Fernández y Roche, 1987). Por ella, recorren cuatro grandes ríos: el Mamoré, el Iténez, el Madre de Dios y el Beni, los cuales se unen para formar el Madera, afluente mayor del río Amazonas (Guyot, 1993).

El trabajo de investigación, se llevo a cabo, en tres de estas importantes cuencas que recorren la Amazonía boliviana: el río Iténez, el Mamoré y el Madre de Dios. El Mamoré aporta en un 29% de caudal a las aguas del Río Madera, el Iténez, en un 7% y el Madre de Dios con el 28% (Roche, 1992). La ubicación geográfica y la localización de los puntos de muestreo, detallados en el Mapa Hidrográfico de Bolivia del IGM (Montes de Oca, 1997), se presentan en la Tabla 1 y Figura 1.

Tabla 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.

CUENCA DEL ITÉNEZ		CUENCA DEL MAMORÉ		CUENCA DEL MADRE DE DIOS	
LUGAR DE MUESTREO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	LUGAR DE MUESTREO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	LUGAR DE MUESTREO	UBICACIÓN GEOGRÁFICA
San Martín (California)	S13°17'45"-W63°33'21"	Sécore (Concepción)	S15°24'09"-W65°04'39"	Manuripi (Lago Bay)	S11°57'18"-W68°39'35"
San Martín (Arr S Martincito)	S13°19'20"-W63°25'32"	Sécore (Santa María)	S15°35'41"-W65°08'24"	Manuripi (Manchester)	S11°28'28"-W67°59'45"
San Martín (Bahía Sata)	S13°21'33"-W63°33'01"	Sécore (San Marcos)	S15°46'20"-W65°12'04"	Manuripi (Pto Cardenas)	S11°20'41"-W67°45'00"
San Martín (Bahía Redonda)	S13°19'20"-W63°25'32"				

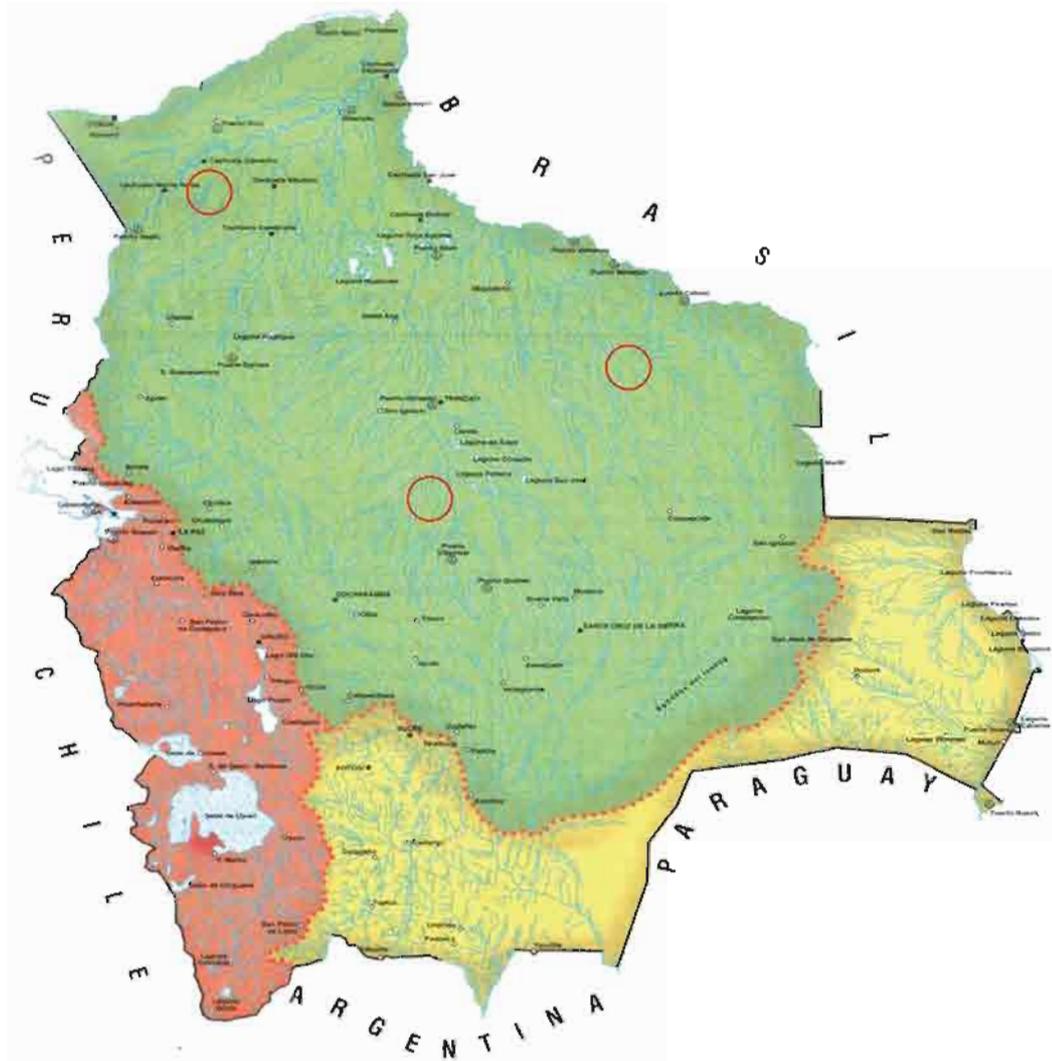


Figura 1. Mapa Hidrográfico de Bolivia (Montes de Oca, 1997), y ubicación de los puntos de muestreo en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.

Los sitios de muestreo, se encuentran dentro de la hidroecorregión de las llanuras aluviales de tierras bajas, donde la dinámica ecológica de los ambientes acuáticos, está regida principalmente por la dinámica de las inundaciones y esta a su vez, por el relieve que da como resultado un complejo mosaico, cuya variabilidad se debe a la temporalidad de la inundación o anegamiento (Navarro y Maldonado, 2002)

Las características geológicas de la región, originan tres tipos diferentes de aguas: blancas, negras y claras. Las cuencas de estudio, presentan diferentes tipos de aguas: la cuenca del Iténez lleva aguas claras, la del Mamoré aguas blancas (Sioli, 1967) y la del Madre de Dios (Río Manuripi), lleva en su cauce aguas de color oscuro (Yunoki *et al.*, 2002), llamada por otros autores como "aguas negras".

3.1.1. Cuenca del Iténez

La cuenca del Iténez o Guaporé, comprende una extensión de 207,901 km², el mismo que representa el 18,9% del territorio nacional. Este río, es de carácter internacional y de curso contiguo, puesto que se constituye en el límite natural entre las repúblicas de Brasil y Bolivia, a lo largo de 850 km. Lleva como afluente por el margen izquierdo al río San Martín (sector donde se realizó el muestreo), que se escurre a lo largo de 550 km, hasta llegar a desembocar en el río Blanco de 678 km de longitud, afluente más extenso del río Iténez, que comprende 850 km de longitud (SNHN, 1998).

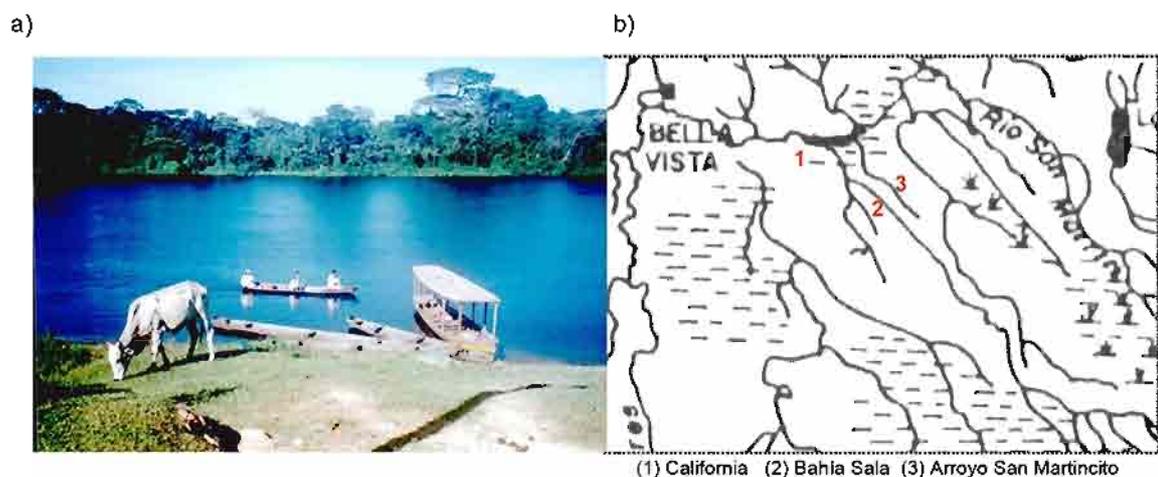


Figura 2. Cuenca del Iténez a) Vista panorámica del río San Martín (Bella Vista): Río de aguas claras o transparentes
b) Ubicación de los puntos de muestreo

La cuenca del Iténez, se encuentra en el Escudo Precámbrico, o nominado por Montes de Oca (1997), como Escudo Brasileño, presenta un paisaje de planicies aluviales, colinas y serranías. Un gran porcentaje de las tierras tiene deficiencias de drenaje, una parte próxima al río Iténez presenta vegetación semidecidual, el 50% tiene formaciones boscosas y los otros 50% pastizales (EUROCONSULT, 1999). Litológicamente, esta formada por sedimentos cuaternarios aluviales, grava,

arenas y arcillas por afloramientos de rocas del Terciario, Cretácico, Carbonífero y Silúrico. Las serranías son altamente mineralizadas, existe hierro, níquel, oro, otros metales y piedras preciosas. La región presenta una precipitación anual de 700 a 1499 mm, y una temperatura media anual mayor a los 25° C (Unidad de Ordenamiento Territorial, MDSP, 2003).

El sistema del río Iténez, que confluye con aguas del escudo Brasileño, es llamado río de aguas “claras” (Roche y Fernández, 1988; Bourrel, 1999). El tipo de agua que caracterizan a esta cuenca y los puntos de muestreo, se pueden observar en la Figuras 2 y Tabla 2.

3.1.2. Cuenca del Mamoré

La cuenca del Mamoré, comprende una extensión aproximada de 267,175 km², ocupando en consecuencia, el 24,3% de la superficie del territorio Nacional. Fisiográficamente, se encuentra en la Provincia de la llanura Beniense, constituida por extensas planicies inundables, llanuras aluviales, planas a ligeramente onduladas, cubiertas de cobertura boscosa y extensos pastizales llegando al 60% (EUROCONSULT, 1999; Unidad de Ordenamiento Territorial-MDSP, 2003). En época de aguas altas (noviembre a abril), los niveles de agua suben, hasta sobrepasar el talud del lecho, inundando extensas superficies.

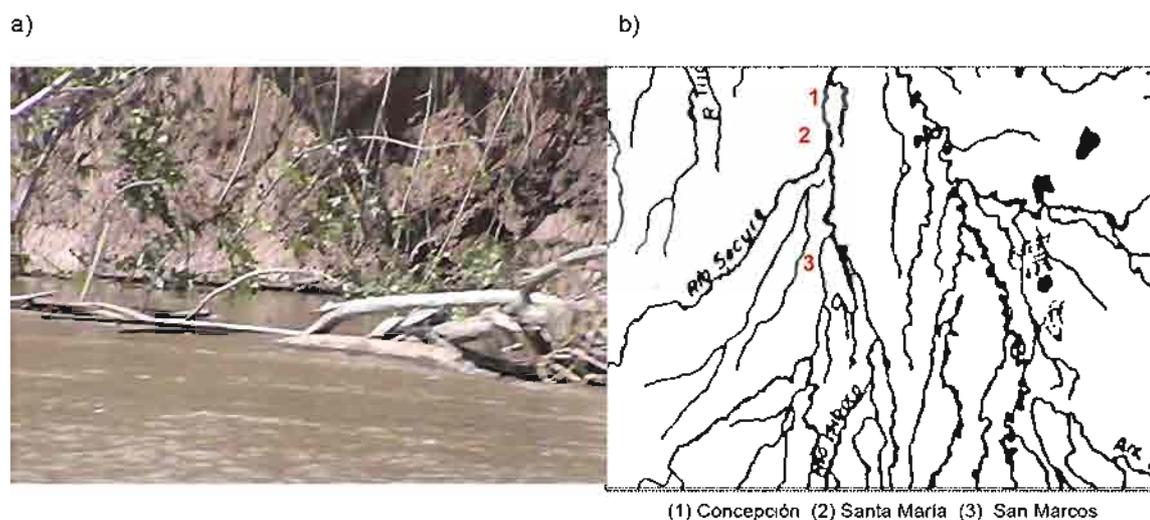


Figura 3. Cuenca del Mamoré a) Vista panorámica del río Sécure: Río de aguas blancas b) Ubicación de los puntos de muestreo

El río Mamoré, lleva en su cauce, las aguas de los Andes. El agua de este sistema, tiene dos orígenes distintos: agua exógena o “blanca” (Roche y Fernández, 1988) (Figura 3a), cargada por sedimentos erosionados de los Andes, que transita en los grandes ríos, alimentando los anexos conectados al lecho principal, y agua endógena o de planicie, cargada de ácidos húmicos, cuya agua drenada por la llanura misma, forma pequeños ríos que cruzan la sabana y las lagunas antes de llegar al

río Mamoré (Pouilly *et al.*, 1999). Los suelos son arcilloso limosos y arenas de grano fino de coloración pardo amarillento. La precipitación anual de la región se encuentra entre los 2,000 a 3,999 mm, y el promedio de la temperatura anual media se encuentra entre los 24 a 25° C (Unidad de Ordenamiento Territorial, MDSP, 2003).

Los ríos Isiboro-Sécure, en cuya cuenca se realizaron los muestreos (Figura 3b), tienen una longitud de 268 km, son afluentes por el margen izquierdo del río Mamoré de 1,054 km de longitud (SNHN,1998). El río Sécure nace en los Andes, donde las lluvias son muy abundantes, siendo la precipitación anual de 4,450 (Roche *et al.*, 1986). Las características fisicoquímicas de las aguas, se describen en la Tabla 2.

3.1.3. Cuenca del Madre de Dios

La cuenca del Madre de Dios se encuentra dentro de Provincia Fisiográfica del Ondulado Amazónico, que se caracteriza por presentar llanuras de relieve ondulado y clima tórido contrastando con la llanura beniana, que es de relieve plano o casi plano (Unidad de Ordenamiento Territorial, MDSP, 2003), el 90% de esta Provincia tiene cobertura boscosa y pastizales y un 10% de áreas húmedas con lagos, lagunas y curichales (EUROCONSULT, 1999).

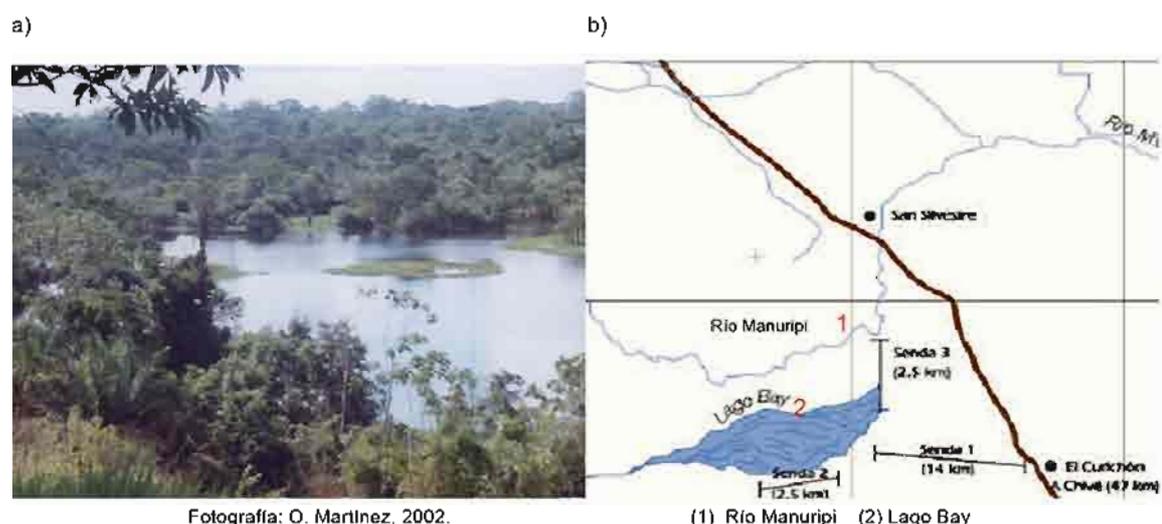


Figura 4. Cuenca del Madre de Dios a) Lago Bay (Subcuenca del Manuripi): Aguas negras b) Ubicación de los puntos de muestreo

Geológicamente, esta constituida por depósitos holocénicos laterizados, conformados por arcillas arenosas y arcillas hemáticas, arenas de grano fino, conglomerados de coloración rojiza y depósitos aluviales a lo largo del río. La floresta es más densa, cubierta con árboles de madera preciosa y de goma. La precipitación anual oscila entre los 1,500 a 1,999 mm, y el promedio de temperatura oscila entre los 24 a 25° C (Unidad de ordenamiento Territorial, MDSP, 2003).

El Madre de Dios, lleva en su cauce aguas de color barroso, por el contrario el río Manuripi, es un río de aguas oscuras o "negras" (Saavedra, 2001 citado por Yunoki, 2002). En la Figura 4a, se puede observar las características de las aguas de la cuenca del río Manuripi (Lago Bay), y en la Figura 4b, los puntos de la recolección de muestras. La temperatura promedio anual y los contenidos iónicos de las aguas de la cuenca del Madre de Dios, se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de las aguas de las cuencas de los ríos Iténez, Mamoré y Madre de Dios

CUENCA	Tem. (°C)	CO ₃ H ⁻ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻ (meq/l)	PO ₄ ⁻ (meq/l)	NO ₃ ⁻ (meq/l)	Ca ^{**} (meq/l)	Mg ^{**} (meq/l)	Na ⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	Mn (mg/l)	Fe (mg/l)	Ex híd. (*10 ⁶)	Salin. (mg/l)	Caudal (m ³ /s)
ITÉNEZ	28,2	0,25	0,02	<0,10	<0,002	<0,01	0,08	0,08	0,06	0,04	0,02	0,9	63,9	17,6	2477
MAMORÉ	25,9	0,46	<0,10	<0,11	<0,005	<0,016	0,38	0,19	0,09	0,03	0,09	2,1	159,0	52	6140
MAORE DE DIOS	28,2	0,54	<0,02	<0,10	<0,003	<0,01	0,37	0,15	0,08	0,04	0,2	3,4	155,1	45,5	4915

Fuente: Roche *et al.*, 1988, 1989 y Wasson *et al.*, 1989.

4. METODOLOGIA

4.1. MUESTREO EN CAMPO

4.1.1. Recolección de muestras

La colecta de las muestras, se realizó en cuatro viajes que se hicieron al lugar de estudio, las colectas en la cuenca del Madre de Dios, fueron echas por los investigadores del IRD. Las muestras, se tomaron durante los meses de abril a diciembre de 2002 (Tabla 3).

Tabla 3. Lugar y fecha de recolección de muestras en las cuencas de los ríos Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Nº de muestreo	Cuenca	Fecha de muestreo
1	Iténez	Abril – Mayo de 2002
2	Mamoré	Mayo – Junio de 2002
3	Iténez	Octubre de 2002
4	Madre de Dios	Diciembre de 2002

Para la pesca en los cauces (ríos), lagunas y zonas de inundación, se utilizaron redes agalleras de superficie, de aberturas de 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 y 110 mm de longitud de nudo a nudo, lineadas, espineles y cañas de pescar. En cada sitio, las redes fueron colocas de diferente forma, en el caso de las Lagunas, estas se colocaron desde las orillas hacia las partes más profundas, o hacia el medio de la laguna. En el río, se colocaron en las partes calmadas sobre las orillas, hacia las partes más profundas.

Se realizaron dos colectas durante el día, una en la mañana, y otra en la tarde. Las especies y el número de muestras colectadas por Cuenca, se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Especies, hábito alimentario y número de peces colectados en las cuencas de los ríos Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Clasificación basada en Lauzanne L. y Loubens G. (1985). Campaña: abril a diciembre de 2002.

N°	Especie	Nombre común	Hábito alimentario	Familia	Cuenca		
					Iténez	Mamoré	Madre de Dios
1	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	Omnívoro	Serrasalminidae	23	23	17
2	<i>Piaractus brachipomus</i>	Tambaqui	Omnívoro	Serrasalminidae	-	9	-
3	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Palometa*	Carnívoro	Serrasalminidae	29	35	15
4	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	Piscívoro	Cichlidae	22	9	9
5	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	Carnívoro	Pimelodidae	13	23	19
6	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	Piscívoro	Sciaenidae	-	12	-

(*) Descrita por Ferreira *et al*, 1998 como Piraña

Las especies: *Colossoma macropomum*, *Pygocentrus nattereri*, *Cichla monoculus*, y *Pseudoplatystoma fasciatum*, fueron colectadas en las tres Cuencas. Las especies: *Piaractus brachipomus* y *Plagioscion squamosissimus*, únicamente se colectaron en la Cuenca del Mamoré.

4.1.2. Registro de datos biométricos

En el laboratorio de campo, los peces recolectados fueron identificados y etiquetados de acuerdo a la especie. En cada pez, se tomaron datos biométricos y biológicos: longitud estándar, peso y sexo (Anexos 1 al 3):

- La longitud estándar fue tomada con el ictiómetro en milímetros (mm), desde la parte extrema de la mandíbula hasta la articulación de la aleta caudal del pez.
- Para determinar el peso en peces pequeños, se utilizó una balanza de precisión con una capacidad máxima de 300 gramos y los peces grandes, mayor a 300 gramos, fueron pesados en una romana.
- El sexo de los peces fue estudiado a través de una observación visual de las gónadas. En los peces inmaduros, donde no se pudo identificar visualmente, se extrajo una muestra de la gónada y fue llevada a laboratorio para su posterior identificación por medio de estudios histológicos.

4.1.3. Colecta del estómago, tejido muscular y otolitos

En las cuencas del Iténez y Mamoré, se tomaron muestras del estómago, tejido muscular y otolitos de todos peces recolectados, para posteriormente ser trasladados y analizados, en los Laboratorios. En cambio, en la cuenca del Madre de Dios, solo se colectó tejido muscular, y algunos otolitos. La toma de muestras, es detallada a continuación:

- Se extrajo el estómago de cada uno de los peces, haciendo una disección en la parte inferior del esófago y otra en el piloro, estas muestras fueron colocadas en frascos de plástico de 150, 300, 500 y 1000 cc de volumen y conservadas en una dilución de Formol al 4%, para evitar la descomposición durante el traslado.
- Para determinar el contenido de los niveles de mercurio en los peces, se tomó una muestra de músculo dorsal y/o lateral, a través de un corte hecho con el bisturí, evitando la extracción de la piel, escamas y huesos del pez (Figura 8). Las muestras del tejido muscular, fueron colocadas en tubos Ependorf (vol. 1.5 cc) y depositados en el Frasco de crioconservación.
- Finalmente, con el fin de determinar la edad de los peces, en las especies: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Piaractus brachipomus* (Tambaquí), *Pygocentrus nattereri* (Piraña), *Cichla monoculus* (Tucunaré) y *Plagioscion squamosissimus* (Corvina), se extrajeron los otolitos de cada pez y fueron guardados en sobres de papel bond, identificado cada muestra (Figura 5). En los peces de la especie *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), se colectaron las primeras cinco vértebras.



Fotografía: Juan Choquecallata, 2002

Figura 5. Recolección de muestras en campo a) Disección del tejido muscular para la determinación del contenido de mercurio b) Extracción del otolito en la especie *Colossoma macropomum* (Pacú)

para la determinación de la edad.

4.2. ANALISIS EN LABORATORIO

4.2.1. Determinación del contenido estomacal

El análisis de la alimentación en las seis especies estudiadas, se realizó en la Unidad de Limnología del Instituto de Ecología (UMSA). En este estudio, se ha adecuado una metodología propia, en base a conceptos establecidos.

Por medio de observaciones, se analizó: el tipo de alimento, la abundancia y el volumen consumido, de acuerdo a los siguientes pasos:

- Se hizo un corte longitudinal a lo largo del estómago con un bisturí. El contenido estomacal fue depositado en una caja de Petri.
- El alimento, se observó directamente utilizando un microscopio de 0.6, 1, 2, 4 y 7 de aumento y un estéreo microscopio (Wild Heerbrug), de 6, 12, 25 y 50 y oculares de 10X/21. Para una mejor observación, se utilizó una dilución de alcohol al 75%.
- Se identificaron a los tres principales alimentos de acuerdo a su abundancia (Figura 6), estos alimentos se clasificaron en las siguientes categorías de acuerdo a las comunidades biológicas:
 - a. Ictiofauna: Peces enteros o trozos de peces
 - b. Vegetales superiores: Hojas, flores, frutos, semillas, tallos
 - c. Macrófitas: Hojas, flores, tallos, raíces acuáticas.
 - d. Fauna béntica (Macroinvertebrados): Cangrejos, moluscos, insectos acuáticos
 - e. Zooplancton y Fitoplancton
 - f. Otros organismos: Mamíferos, roedores, insectos (terrestres)
- Se determinó y registró el volumen en porcentaje de los tres principales alimentos en base a la abundancia.
- El alimento consumido por cada pez, fue clasificado y promediado en "clases", de acuerdo a la especie y Cuenca de estudio (Anexo 4 y 5).
- El número de estómagos recolectados en campo se detallan en el Anexo 6. Todos ellos fueron analizados, en algunos casos, se encontró alimento en proceso de digestión

(semivacíos), en otros, los estómagos estaban vacíos, no pudiéndose identificar el alimento consumido.

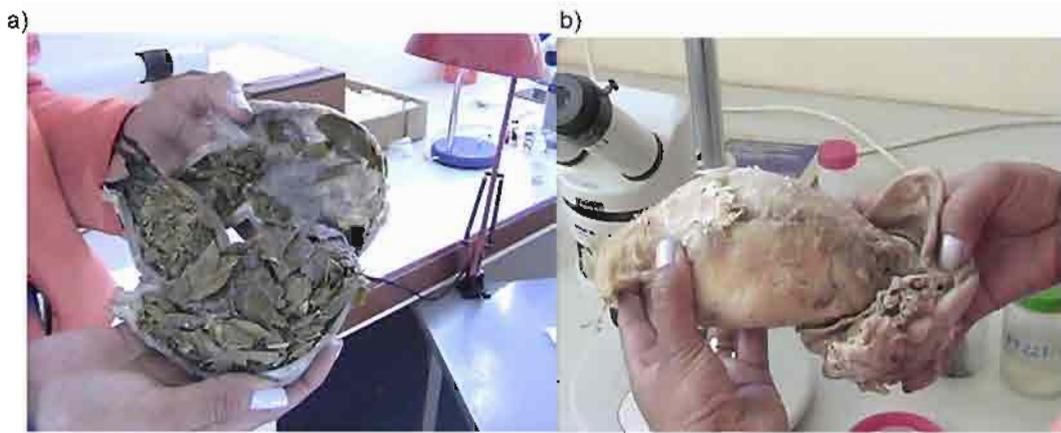


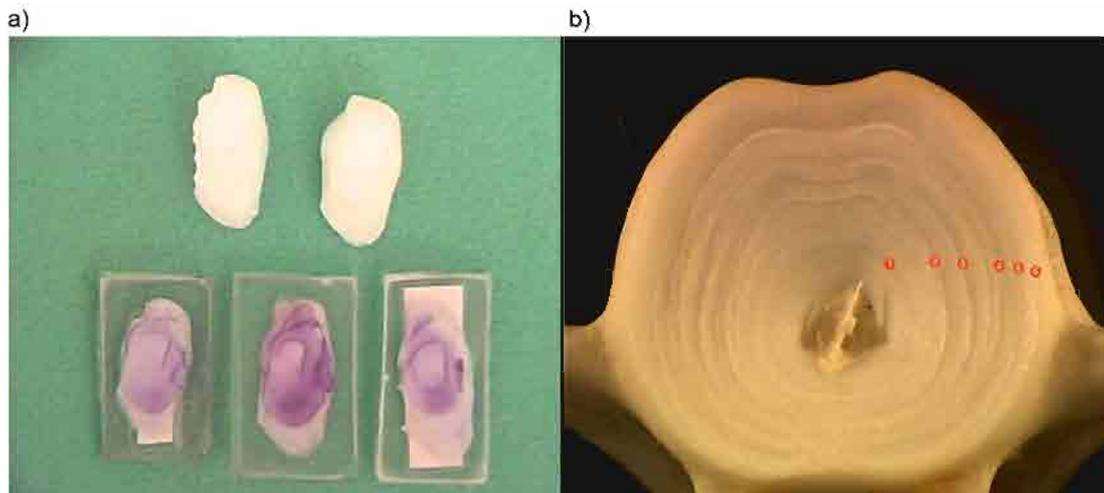
Figura 6. Determinación del hábito alimenticio a) Contenido estomacal en *Colossoma macropomum* (Pacú). b) Contenido estomacal en *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí). Laboratorio de Limnología - UMSA.

4.2.2. Determinación de la edad

El análisis de la determinación de la edad en otolitos y vértebras, cuyo proceso se detalla más adelante, fue realizado, en el Laboratorio de Biología de Peces del Instituto de Biología Molecular y Biotecnología (IRD-IBMB-UMSA).

- Para determinar la edad en otolitos, se ha seguido el método de inclusión de estas piezas óseas (Secor *et al.*, 1992), donde inicialmente los otolitos se colocan en resina de polyester (SODY 33) y un catalizador (SODY33C 2%), en una proporción de 10 ml de resina por 2 gotas del catalizador.
- Se adiciona una capa fina de resina en un molde y luego de 24 horas, cuando la resina está seca, se disponen los otolitos en el molde.
- Se cubren con la resina, se extraen al estéreo microscopio las burbujas que se hayan quedado atrapadas en la resina y se espera nuevamente su solidificación durante 24 horas.
- Cada otolito cubierto con la resina, se pule con lijas de diferente granulometría, lijas gruesas (grado 120), y finas (grado 400), y finalmente con alúmina al 50% de 3 y 1 μm , hasta llegar al núcleo.

- Se vierten 1 a 2 gotas de EDTA al 0.1 M y ph 7, se deja reposar por unos minutos. Para observar las bandas, se tñe con 1 a 2 gotas de Azul de Toluidina durante 10 minutos (Figura 7a).
- La determinación de la edad en las vértebras (en la especie *Pseudoplatystoma fasciatum*), ha sido realizado por el Dr. Jesús Nuñez, en el laboratorio de peces, a través de una limpieza de las cinco vértebras recolectadas en campo, para una posterior observación directa de los anillos (Figura 7b), tomando en cuenta las cinco repeticiones por individuo.
- La lectura de bandas en otolitos y vértebras, se hizo mediante observaciones, en el estereó microscopio, cada banda observada representa un año de vida, y a estas bandas, se añade los meses que representan el intervalo de la época de reproducción de la especie al momento en que fue recolectado el pez, teniendo en cuenta el mes promedio de formación del anillo.



Fotografía: Jesús Nuñez, 2004.

Figura 7. Determinación de la edad a) Tinción de otolitos mediante el método de inclusión en resina b) Observación de las bandas de crecimiento en vértebra de *Pseudoplatystoma fasciatum*

Con las muestras, en las que ha sido determinada la edad de cada pez, se modelizó la curva de crecimiento, utilizando el Programa FISAT (Figura 8), de acuerdo a la ecuación de Von Bertalanffy:

$$L_t = L_{inf}(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

Donde:

L_t = Longitud teórica a la edad t

L_{inf} = Longitud asintótica

K = Coeficiente de crecimiento

t = Edad del individuo en años

t_0 = Edad teórica del individuo a la longitud cero

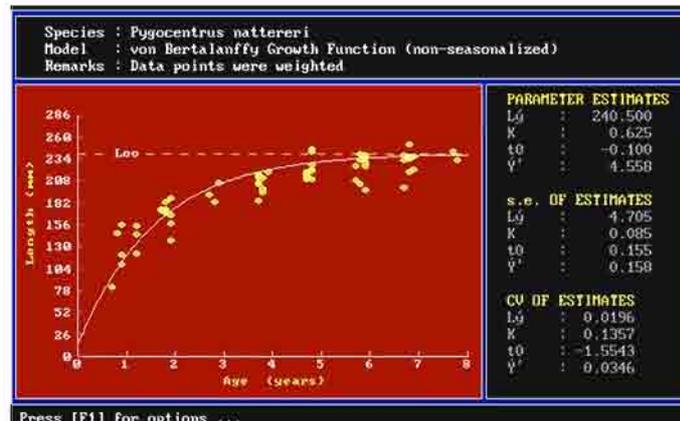


Figura 8. Modelización de la curva de crecimiento en *Pygocentrus nattereri* (Piraña), en la cuenca del Mamoré, según el modelo de Von Bertalanffy

Personalmente, modelizamos la curva de crecimiento de *Piaractus brachipomus*, *Plagioscion squamosissimus*, y agregamos un mayor número de muestras para modelizar las curvas de *Pygocentrus nattereri* y *Colossoma macropomum*. En *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Cichla monoculus* se tomaron curvas ya modelizadas en el Laboratorio de Biología de peces, dirigido por el Dr. Jesús Nuñez. En el caso de *Pygocentrus nattereri* (Piraña), y *Colossoma macropomum* (Pacú), se tomaron datos de las curvas modelizadas en los trabajos de investigación realizados por Lino (2002), y Maldonado (2004). Los valores de ajuste, para cada especie y cuenca se muestran en el Anexo 7.

4.2.3. Determinación del mercurio

El análisis de mercurio, fue realizado en el Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología (UMSA).

Los niveles de concentración de mercurio total en el tejido muscular de los peces, se encontraron por medio del método de Digestión, siguiendo y adaptando juntamente con el Dr. Marc Roulet, nuevamente la metodología seguida por Alanoca (2001), basada y adaptada en las metodologías de Agemian *et al*, 1978, Malm *et al*, 1989. Las lecturas fueron hechas utilizando el Espectrómetro de Absorción Atómica (PERKIN ELMER 3110).

El análisis se hizo en peso seco, de esta manera, se evitó el riesgo de perder elementos y agua por volatilización, lo que ocasiona variaciones en el peso de la muestra. Por otra parte, el secado de las muestras nos permite una mejor homogenización del tejido, es así, que la determinación de mercurio a partir de peso expresa mejores resultados, y por otra parte este material puede ser utilizado en varios análisis y repeticiones sin alterar las características de la muestra (Muhaya *et al.*, 1997). Por ello, se secaron las muestras, se procedió a la digestión, para finalmente realizar las lecturas del mercurio:

4.2.3.1. *Secado de las muestras*

- Se prepararon las muestras para el secado, para ello, se registró el peso del frasco (p.f.) y el peso húmedo del tejido muscular de cada muestra (p.h.), utilizando la balanza analítica con una precisión de 0.0001 g.
- Estas muestras, se colocaron en pequeños frascos y se cubrieron con papel poroso para eliminar la humedad del tejido muscular.
- Se secaron en estufa a una temperatura de 40 °C. El tiempo de secado fue entre 45 y 60 días. El tejido muscular seco, fue pesado en la balanza analítica y molido finamente en Ágata para obtener la muestra en Peso seco (p.s.).
- El porcentaje de humedad (%H), fue encontrado de acuerdo a la siguiente relación:

$$\%H = (p.s/p.h.)*100$$

4.2.3.2. *Proceso de Digestión*

- Se pesaron 100 mg de muestra en peso seco (p.s.), en 18 tubos de vidrio termoresistentes, con tapa a rosca, de 50 ml. Adicionalmente, se pesaron 100 mg de las muestras de referencia adquiridas del National Research Council of Canada: TORT 2 (Lobster hepatopancreas) y DOLT 2 (Dogfish liver). Estas muestras son estándares para comprobar la exactitud del método
- Se agregó 1.5 ml de peróxido de hidrógeno al 30% y una mezcla de ácido nítrico p.a. al 69% y ácido sulfúrico p.a. al 98% en una relación de 2 a 1 para mineralizar la materia orgánica. Se prepararon simultáneamente, dos muestras de digestión en blanco (sin muestra).
- Los tubos, se cubrieron, con dos capas de Parafilm y la tapa a rosca, para evitar la pérdida de mercurio por volatilización. Estos tubos, fueron colocados en gradillas y llevados a Baño María durante 4 horas a 70 °C para el proceso de digestión (Figura 9).
- Estas muestras, fueron enfriadas a través de ventiladores eléctricos, para agregar 6 ml de Permanganato de Potasio al 5%, a cada tubo, para la oxidación de la materia orgánica de la muestra.
- Los tubos nuevamente son llevados a Baño María, para continuar la digestión, durante 2 horas, a la misma temperatura.

- Estas muestras, se enfrían y se añade a cada tubo, 4 a 5 gotas de Hidroxylamina al 12%, para neutralizar el manganeso reducido, la muestra, se agita en el agitador magnético, hasta que la solución se neutralice completamente y adquiera una transparencia.
- El volúmen de las muestras, es completado con agua Milli-Q a 30 ml y son agitadas para obtener una homogenización de la disolución.



Figura 9. Digestión en Baño María de las muestras de los músculos de los peces en peso seco

4.2.3.3. *Lectura del mercurio*

- Se prepararon los patrones de mercurio en matraces de 50 ml, para la determinación de la curva estandarizada de mercurio: una solución de blanco de reactivo (dilución sin mercurio), y cuatro soluciones de 1 μg , 3 μg , 5 μg y 10 μg de Hg
- Como agente vector se utilizó Ácido Clorhídrico al 3% y Cloruro Estanoso al 1,5% como agente reductor.
- La lectura de los niveles de mercurio en las muestras digeridas, se realizó mediante el Equipo de Absorción Atómica (PERKIN ELMER 3110) como se muestra en la Figura 10, de sensibilidad 0,001 $\mu\text{g/l}$ y límite detectable de 0,2 $\mu\text{g/l}$.
- Cada cinco muestras leídas, se ha leído la muestra estandarizada de 5 $\mu\text{g/l}$ de Hg, para detectar la sensibilidad del equipo al mercurio.
- Las muestras se analizaron en dos réplicas, aceptando una desviación estándar del 10% en especies piscívoros (incluyendo carnívoros), y un 20% en especies no piscívoras.

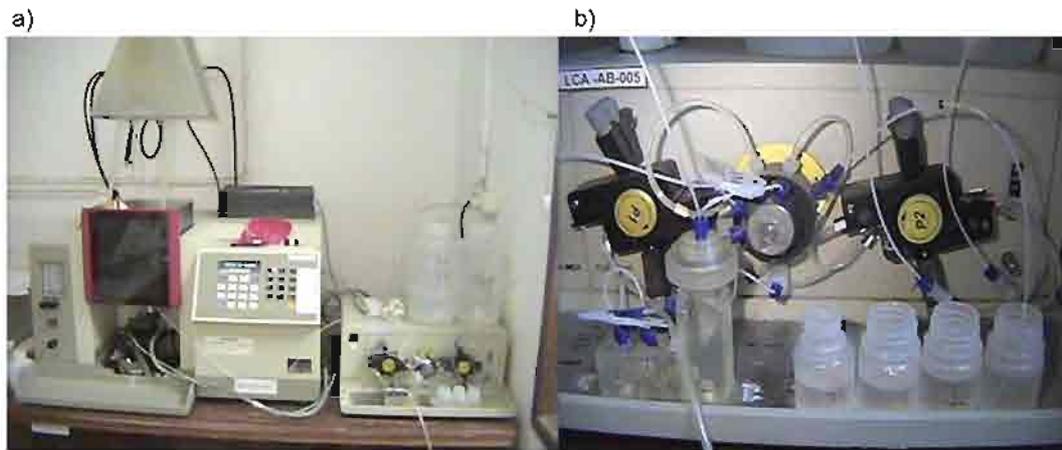


Figura 10. Lectura del contenido de mercurio de las muestras a) Equipo de absorción atómica (PERKIN ELMER 3110)
 b) Lectura de muestras por el método FIAS. Laboratorio de Calidad Ambiental - UMSA.

4.3. ANALISIS DE DATOS

Los datos de las tres cuencas de estudio, presentados en los Anexos 1, 2 y 3, fueron analizados descriptivamente y estadísticamente. Como se puede observar en estos anexos, en la cuenca del Madre de Dios, no se registraron los pesos y la edad de los peces, excepto en la especie *Colossoma macropomum* (Pacú), ni se recolectaron los contenidos estomacales. En la cuenca del Madre de Dios, se efectuaron solo los análisis de los datos con los que se contaban.

4.3.1. ANALISIS DESCRIPTIVO

Para determinar las relaciones entre las concentraciones de mercurio, y la longitud estándar, el peso y la edad de los peces, así como la alimentación y la madurez sexual, se utilizó un análisis previo al estadístico, con el fin de determinar el comportamiento de estas relaciones en las seis especies y tres cuencas de estudio.

En este análisis, se determinó, que las curvas de la relación de mercurio y la longitud, son similares a la relación de mercurio y peso, por tanto, se estableció analizar estadísticamente los parámetros: longitud estándar que es una variable que fácilmente puede estimar el consumidor (de los peces), y edad, variable que muestra diferencias entre la relación de acumulación de mercurio, respecto a la longitud y puede tener significancia en los trabajos de investigación.

Por otra parte, también se efectuó un análisis descriptivo del crecimiento, la tasa de crecimiento, la influencia de la tasa de crecimiento y el sexo, en la acumulación de los diferentes niveles de mercurio, por especie y por cuenca de estudio.

Para graficar estas relaciones de los niveles de mercurio, se utilizó el programa gráfico KALEIDA Graph, versión 3.5. El tipo de alimento consumido por las diferentes especies, fue graficado por el programa: Microsoft EXCEL.

4.3.2. ANALISIS ESTADISTICO

Los niveles de mercurio por especie y por cuenca, fueron analizados con el programa estadístico STATGRAPHICS Plus, Versión 4.0, de esta manera, se determinó, si los parámetros como cuenca y especie, afectan a la concentración de mercurio.

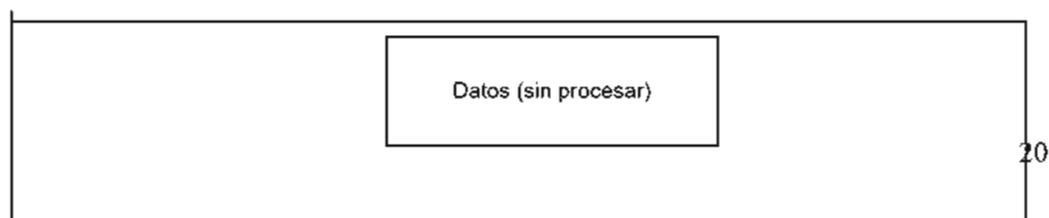
Las especies en las que se realizó este estudio, fueron las cuatro especies que pudieron ser recolectadas en las tres cuencas de estudio: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí). Las variables analizadas fueron: longitud estándar y edad.

4.3.2.1. Descripción de la metodología

Para analizar los niveles de mercurio en los músculos de los peces, se utilizó el análisis de regresión polinomial con variables indicadoras basada en Tremblay *et al.* (1998). Este análisis es apropiado para medir los niveles de mercurio en peces y puede ser aplicado en análisis espaciales

En el presente estudio, juntamente con el Dr. Marc Roulet, ajustamos una metodología basada en la propuesta por Tremblay *et al.* (1998), donde adicionalmente al análisis de regresión polinomial con variables indicadoras (variables binarias de 0 y 1), donde las observaciones son codificadas con 1, cuando la cuenca específica es descrita por la variable, y 0 en los otros casos, se desarrolló un análisis de regresión lineal con variables de prueba (utilizando valores del 1 al 3, para designar a las tres cuencas: Iténez, Mamoré y Madre de Dios).

Este análisis con variables indicadoras, que ofrece las posibilidades del programa STATGRAPHICS Plus, es sencillo y proporciona comparaciones estadísticas rigurosas. La secuencia del tratamiento de los datos se detallan en el diagrama de flujo de la Figura 11.



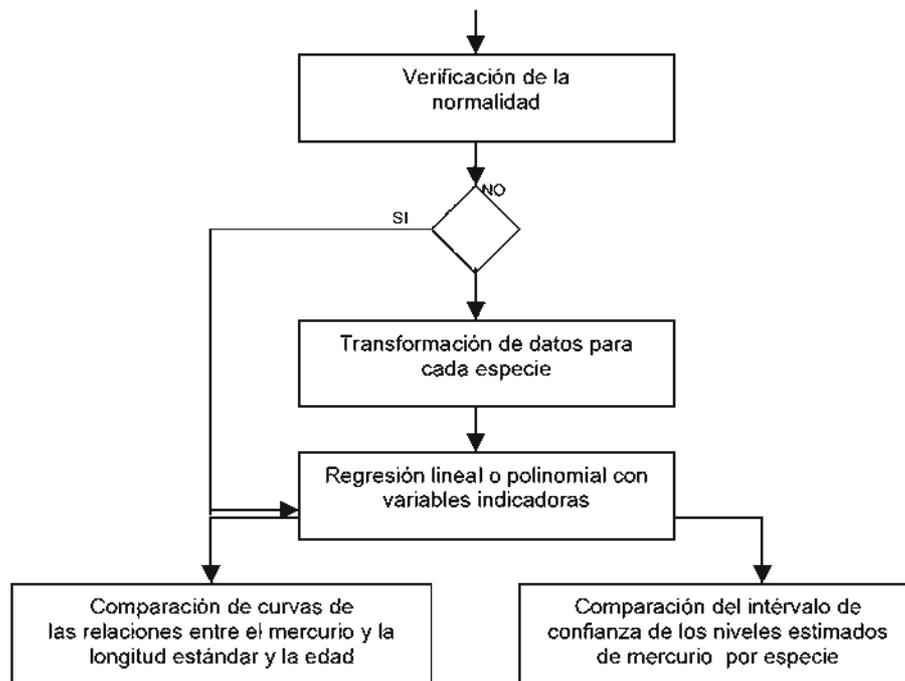


Figura 11. Diagrama de flujo para el análisis estadístico de los datos de concentración de mercurio (Basado en Tremblay *et al.*, 1998).

4.3.2.2. Normalización y transformación de datos

El método estadístico paramétrico, requirió de ciertas condiciones de normalidad, por lo cual, se analizó la normalidad de los datos de las especies de cada cuenca y en aquellas especies cuyos datos no seguía una normalidad, estos fueron transformados. En algunos casos se utilizó la transformación logarítmica en base 10, o raíz cuadrada, para la corrección de los datos, y para otras, no se requirió ninguna transformación (Tabla 5). Los tests utilizados para verificar la normalidad fueron: Chi cuadrado y Zafiro Wilks.

Tabla 5. Transformaciones óptimas de datos, utilizada para cada especies de las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios.

<i>Especie</i>	<i>Iténez</i>	<i>Mamoré</i>	<i>Madre de Dios</i>
Pacú	Logaritmo (base 10)	Logaritmo (base 10)	Logaritmo (base 10)
Tucunaré	Sin transformación	Sin transformación	Sin transformación
Piraña	Raíz cuadrada	Raíz cuadrada	Raíz cuadrada
Surubí	Sin transformación	Sin transformación	Sin transformación

4.3.2.3. Diseño del registro de datos

Las variables descritas en el archivo diseñado para el análisis estadístico, son las siguientes:

- **Cuenca** : Nombre de la cuenca: Iténez, Mamoré o Madre de Dios
- **LS** : Longitud estándar de los peces (mm), registrada en campo
- **LSC** : Longitud estándar centrada y reducida (Determinada por la resta de la longitud del pez, a la media de la longitud de los peces de las tres cuencas)
- **LSC²** : Longitud estándar centrada y reducida elevada al cuadrado
- **E** : Edad de los peces (años), determinada en laboratorio
- **EC** : Edad centrada y reducida (Determinada por la resta de la edad del pez, a la media de la edad de los peces de las tres cuencas)
- **EC²** : Edad centrada y reducida elevada al cuadrado
- **Hg** : Concentración de mercurio en peso húmedo (ng/g)

Variables binarias (regresión polinomial)

- **Sitio 1** : Designa con la variable binaria 1 a la cuenca del Iténez y 0 a las otras
- **Sitio 2** : Designa con la variable binaria 1 a la cuenca del Mamoré y 0 a las otras.
- **Sitio 3** : Designa con la variable binaria 1 a la cuenca del Madre de Dios y 0 a las otras.

Variables de prueba (regresión lineal)

- **Sitios** : Describe con el número 1 a la cuenca del Iténez, con el número 2 a la cuenca del Mamoré y con el número 3 a la cuenca del Madre de Dios.

Como se observa en el archivo, los parámetros analizados: Longitud estándar y edad, son centrados y reducidos por la resta a la media, antes de calcular la longitud estándar al cuadrado.

Al inicio del archivo, se describen las longitudes y edades a las cuales se realizarán la comparación de los límites de confianza al 95% de los niveles estimados de mercurio, donde se considera las tres cuencas de estudio (Anexo 8),

4.3.2.4. Análisis de Regresión Múltiple

El propósito del análisis de regresión múltiple con variables indicadoras, es el de desarrollar una ecuación general, que describe la relación entre los niveles de mercurio por el largo, y por la edad.

La ecuación, permite estimar el nivel de mercurio, sobre la base de un polinomio, en este caso del largo y edad de los peces.

La ecuación, toma la siguiente forma en el caso del tamaño:

$$Hg = A + (A_1 \times LSC) + (A_2 \times LSC^2) + B + (B_1 \times LSC) + (B_2 \times LSC^2) + C + (C_1 \times LSC) + (C_2 \times LSC^2)$$

Donde: A, B y C = Constantes de las cuencas A, B y C (A=Iténez, B=Mamoré, C=Madre de Dios)
 $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ = Coeficientes estimados de la cuenca A, B y C.
 LSC = Longitud estándar centrada
 LSC^2 = Longitud estándar centrada elevada al cuadrado

Esta ecuación puede ser reducida, si las constantes o coeficientes estimados no son significativos en el análisis de varianza y no contribuyen significativamente al coeficiente de determinación (R^2), y dependiendo de la forma de esta ecuación se obtiene una ecuación general del modelo, para las tres cuencas de estudio.

Si la ecuación es simple y ningún término está expresado al cuadrado, el modelo será lineal, y si por el contrario la ecuación es cuadrática, la relación es curvilínea, como se observa en dos ejemplos presentados, a continuación:

Ecuación general del análisis de regresión múltiple en *Colossoma macropomum* (Pacú) para la variable longitud estándar:

$$\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.18 + 0.0020 * \text{LSC} + 0.0000045 * \text{LSC}^2 + 0.44 * \text{Mamoré} + 0.30 * \text{Madre de Dios} - 0.0015 * \text{Madre de Dios} * \text{LSC}$$

En la anterior ecuación, se observa que el término LSC, está elevado al cuadrado, por ello los modelos curvilíneos, son los más apropiados para la variable longitud estándar en *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios.

Ecuación general del análisis de regresión múltiple en *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí) para la variable edad:

$$\text{Hg} = 217.53 + 0.56 * \text{LSC} + 78.58 * \text{Madre de Dios}$$

Opuestamente a la anterior ecuación, en *Pseudoplatystoma fasciatum*, se observa una ecuación lineal, por lo tanto, los modelos apropiados para la variable edad, para las tres cuencas de estudio, son los lineales.

4.3.2.5. Determinación de los modelos

o **MODELO CURVILINEAL**

En el caso de los modelos curvilíneos, como el observado en *Colossoma macropomum*, se despejan los términos: LSC y LSC^2 de la ecuación general, resultado del análisis de regresión múltiple:

Ecuación general

$$\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.18+0.0020*\text{LSC}+0.0000045*\text{LSC}^2+0.44*\text{Mamoré}+0.30*\text{Madre de Dios}-0.0015*\text{Madre de Dios}*\text{LSC}$$

Donde:

- o $\text{LSC} = \text{LS} - \text{LSx}$
- o $\text{LSC}^2 = (\text{LS} - \text{LSx})^2$

Ecuación general reemplazando los términos LSC y LSC²

$$\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.18+0.0020*(\text{LS}-\text{LSx})+0.0000045*(\text{LS} - \text{LSx})^2+0.44*\text{Mamoré}+0.30*\text{Madre de Dios} -0.0015*\text{Madre de Dios}*(\text{LS} - \text{LSx})$$

A partir de la suma de los términos iguales de esta ecuación, y despejando los términos (LS=x; LSx = 566.09), se encuentran los modelos para las tres cuencas:

Modelos estadísticos

Iténez

- $\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.18+0.0020*(\text{LS}-\text{LSx})+0.0000045*(\text{LS} - \text{LSx})^2$
- $\text{Log } 10 (\text{Hg}) = -0.0030x + 0.0000045x^2$

Mamoré

- $\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.18+0.0020*(\text{LS}-\text{LSx})+0.0000045*(\text{LS} - \text{LSx})^2+0.44*\text{Mamoré}$
- $\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.91 -0.0030x + 0.0000045x^2$

Madre de Dios

- $\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.18+0.0020*(\text{LS}-\text{LSx})+0.0000045*(\text{LS} - \text{LSx})^2+0.30*\text{Madre de Dios} - 0.0015*\text{Madre de Dios}*(\text{LS} - \text{LSx})$
- $\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 2.61 -0.0045x + 0.0000045x^2$

o **MODELO LINEAL**

Los modelos lineales, se encuentran a partir de la opción: comparación de regresión de líneas, del paquete estadístico STATGRAPHICS Plus. Este análisis, nos brinda, otra ecuación general y los modelos para las tres cuencas. En el caso de *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), para el parámetro edad, las ecuaciones son las siguientes:

Ecuación general

$$\text{Hg} = -138.18+0.57*\text{LS}+102.55*\text{Mamoré}-292.50*\text{Madre de Dios} - 0.16*\text{LS}*\text{Mamoré} + 0.57*\text{LS}*\text{Madre de Dios}$$

Modelos estadísticos

Iténez

$$\text{Hg} = -138.18 + 0.57x$$

Mamoré Hg = -35.63 + 0.42x

Madre de Dios Hg = -430.530 + 1.14x

4.3.2.6. Comparación por el largo y edad estandarizada

La comparación de los niveles de mercurio entre el largo estandarizado y la edad estandarizada, para cada especie y cuenca, según los límites de confianza al 95%, se obtuvieron mediante la Regresión múltiple en el caso de los modelos curvilineales y a través de la comparación de la regresión de líneas en el caso de los modelos lineales. Los niveles de mercurio, fueron comparados por su intervalo de confianza y designados por letras para su significancia.

Las longitudes y edades comparadas entre especies y cuencas, fueron representativas de la población recolectada. Los modelos y la comparación de los niveles estimados de mercurio según las longitudes y edades estandarizadas fueron graficadas en el programa KALEIDA GRAPH, versión 3.5.

4.4. FACTOR DE BIOMAGNIFICACIÓN (BMF)

El factor de biomagnificación de mercurio, definido como la proporción de la concentración de mercurio en un organismo en relación a otro, fue encontrado a través de la siguiente expresión:

$$BMF_{(Hg)} = \frac{\text{Concentración de Hg (organismo B)}}{\text{Concentración de Hg (organismo A)}}$$

Donde:

Organismo B = Es el individuo que acumula mayor nivel de mercurio

Organismo A = Es el organismo que acumula menor nivel de mercurio

El factor de biomagnificación de mercurio, se da por un aumento en las concentración de mercurio debido a la dieta de los organismos. Es un caso especial de bioacumulación, cuyo concepto está definido como un proceso que causa un aumento de las concentraciones de un químico en organismos acuáticos, comparado con el agua (Mackay y Fraser, 2000).

Este factor fue determinado en las cuatro especies que pudieron ser colectadas en las tres cuencas de estudio: *Colossoma macropomum*, *Cichla monoculus*, *Pygocentrus nattereri* y *Pseudoplatystoma fasciatum*. Las relaciones encontradas en el estudio fueron las siguientes:

- **Relación del Factor de biomagnificación (BMF), entre los niveles estimados de mercurio por cuenca y por especie**

Donde la concentración de mercurio adoptada en cada especie para el cálculo del Factor de Biomagnificación, fue de acuerdo al nivel estimado de mercurio, encontrado durante la comparación de las longitudes estandarizadas del análisis estadístico.

La longitud estándar considerada para establecer el nivel de mercurio en las tres cuencas, fue un tamaño medio, representativo de la población muestreada y que en todas las especies representan a individuos adultos, excepto en *Pseudoplatystoma fasciatum*, donde algunos machos corresponden a individuos jóvenes que se tomaron para poder comparar entre las tres cuencas, puesto que no se colectaron individuos adultos (hembras) en la cuenca del Iténez.

En la especie *Colossoma macropomum*, el nivel de mercurio se consideró a los 600 mm; en *Cichla monoculus* a los 300 mm; en *Pseudoplatystoma fasciatum* a los 600 mm, y en *Pygocentrus nattereri* a los 200 mm de longitud estandarizada.

El Factor de Biomagnificación en esta relación, indica el aumento de la concentración de mercurio respecto a niveles tróficos inferiores. En este caso, *Colossoma macropomum* (Pacú), no significa que sea la única presa de *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), estos predadores tienen una diversidad de presas.

- o ***Relación del Factor de biomagnificación (BMF), entre los niveles estimados de mercurio de piscívoros y no piscívoros.***

Para este estudio, se considera el promedio del nivel de mercurio de las especies piscívoras: *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí) y *Pygocentrus nattereri* (Piraña). Aunque la Piraña es descrita como carnívora, su alimentación en adultos es ictiófaga por lo cual se ha clasificado dentro de los peces piscívoros. El nivel de mercurio de los no piscívoros corresponde a la especie: *Colossoma macropomum*, que es la única especie no piscívora colectada en las tres cuencas.

Las longitudes estandarizadas tomadas en cuenta para determinar el Factor de Biomagnificación entre piscívoros y no piscívoros, son las mismas, de la anterior relación.

5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis descriptivo y el análisis estadístico de las relaciones de acumulación de mercurio por especie, y la determinación del Factor de Biomagnificación (BMF) por cuenca, son detallados a continuación:

5.1. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN *Colossoma macropomum* (Pacú)

5.1.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

5.1.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad

El análisis descriptivo de la relación entre la concentración de mercurio, y la longitud estándar, el peso y la edad de los peces, nos muestra que existe una relación positiva, entre estos parámetros, donde a medida que la longitud estándar, el peso y la edad de los peces aumentan, existe un incremento en los niveles de mercurio (Figuras 12a, 12b y 12c).

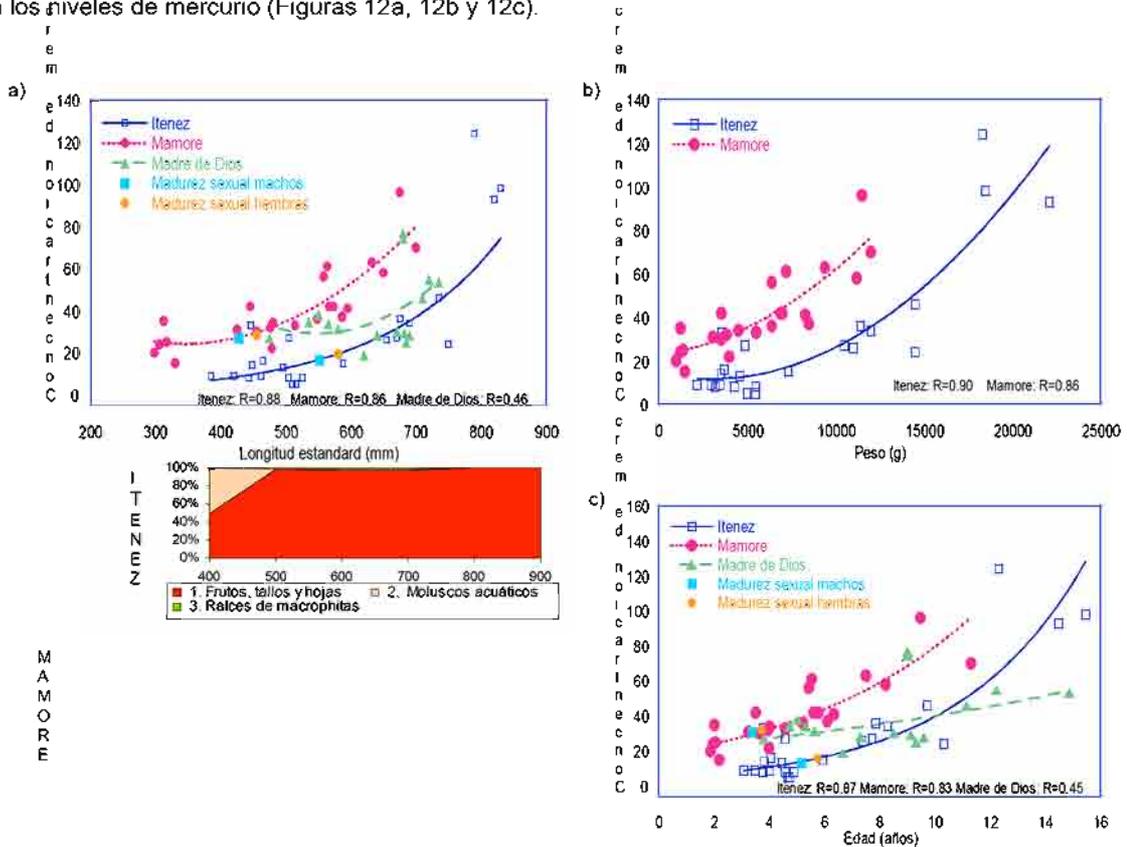


Figura 12. Concentración de mercurio en *Colossoma macropomum*, para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar respecto a la alimentación. b) Relación entre el mercurio y el peso c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002.

Las curvas de la relación entre la concentración de mercurio y el largo y el peso de los peces, son curvilíneas y muy similares (Figuras 12a y 12b). Las curvas de la concentración de mercurio

respecto a la edad son igualmente curvilíneas (Figura 12c), sin embargo, en la cuenca del Madre de Dios, los peces a partir de los 10 años de edad, acumulan menores niveles de mercurio que en el Iténez, este fenómeno no se observa, si se considera la longitud estándar.

En la Figura 12a, se observa que en la cuenca del Iténez, los individuos jóvenes de *Colossoma macropomum*, en peces cuyo largo oscila entre 400 a 500 mm de longitud estándar, se alimentan de moluscos, frutos, tallos y hojas, y a medida que van creciendo, los adultos, consumen principalmente frutos, semillas, tallos y hojas y muy bajos porcentajes de raíces de macrófitas acuáticas. La dieta de fauna béntica (moluscos), en jóvenes no parece influir en una mayor acumulación de mercurio.

En la cuenca del Mamoré, los peces jóvenes se alimentan de raíces y tallos de macrófitas, cangrejos e invertebrados acuáticos, y a medida que se van desarrollando, incrementan en su dieta: frutos, semillas, hojas y tallos de vegetales terrestres, hasta llegar a ser, su principal alimento cuando pasan de jóvenes a adultos. Los adultos nuevamente consumen cantidades considerables de macrófitas, y bajas proporciones de cangrejos e invertebrados acuáticos. Además, de esta alimentación, se observó, pequeñas cantidades de fitoplancton, en los contenidos estomacales y niveles muy bajos de ictiofauna: escamas y huesos de peces (2%). En esta cuenca, la alimentación muy similar en jóvenes y adultos, tampoco parece influir sobre el incremento de mercurio en adultos, sin embargo, en ambas cuencas, a partir de la madurez sexual hay una variación en su alimentación.

En la cuenca del Mamoré, la alimentación en los peces de esta especie, es más variada y diversa en comparación a la alimentación de los peces de la cuenca del Iténez, aunque en la cuenca del Iténez, no se colectaron peces menores a los 400 mm de largo, como en la cuenca del Mamoré.

En las cuencas del Iténez y Mamoré, cuando los peces de *Colossoma macropomum* entran a la madurez sexual, la concentración de mercurio respecto a la longitud (Figura 12a), se incrementa considerablemente, en el Iténez a una longitud de 551 mm en machos y 582 mm en hembras; y en el Mamoré a una longitud de 427 mm en machos y 455 mm en hembras (madurez sexual, determinada por Maldonado, 2004). Por el contrario, la influencia de la madurez sexual en la relación: mercurio y edad, no parece ser muy evidente (Figura 12c).

5.1.1.2. Relación de la bioacumulación de mercurio y el crecimiento

Las curvas de crecimiento de la especie *Colossoma macropomum*, muestran una relación entre las variables analizadas (Figura 13). Además de existir una fuerte correlación entre las variables: edad y longitud estándar, los individuos de la cuenca del Mamoré, se desarrollan más rápido y maduran a más temprana edad, que en la cuenca del Iténez. La madurez sexual no parece influir en una disminución del crecimiento, el crecimiento es gradual y va disminuyendo en adultos (Figura 13a).

En las tres cuencas de estudio, los jóvenes, presentan una acelerada y mayor tasa de crecimiento que los adultos, en los que la tasa de crecimiento es mucho más lenta y va disminuyendo a medida se van desarrollando (Figura 13b).

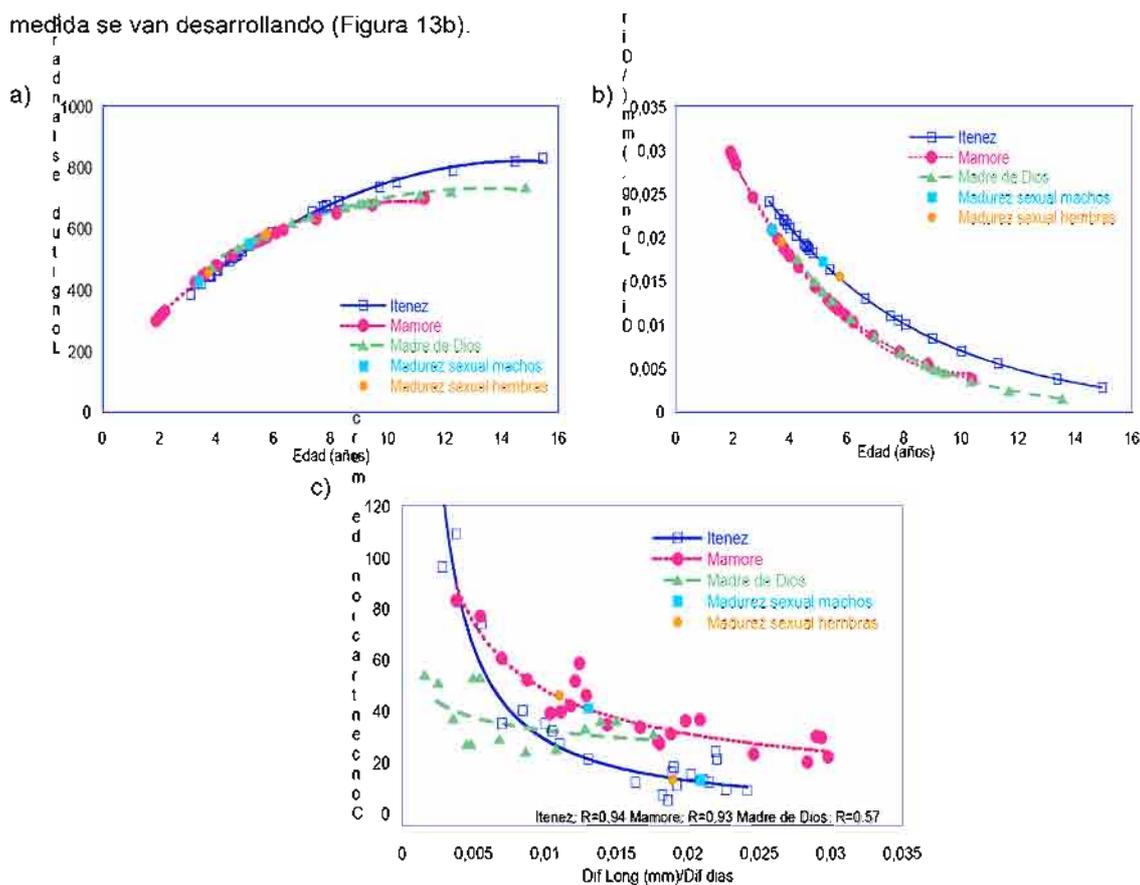


Figura 13. Crecimiento de *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios
a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento
c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a diciembre de 2002.

Comparando el crecimiento en las tres cuencas, los individuos de la cuenca del Mamoré, al principio de la curva crecen y maduran más rápidamente que en el Iténez (Figura 13a), sin embargo, ha medida que van creciendo, la curva de crecimiento en el Mamoré es menor a la del Iténez, presentando además, una menor tasa de crecimiento (Figura 13b) y acumulando mayores niveles de mercurio que en las cuencas del Iténez y Madre de Dios (Figura 13c). La madurez sexual parece influir sobre la acumulación de mercurio (Figuras 13b y 13c).

La acumulación de los niveles de mercurio, presenta relación con la tasa de crecimiento. A una menor tasa de crecimiento, existe una mayor acumulación de mercurio. Los jóvenes acumulan menores niveles de mercurio que los adultos, puesto que cuando la tasa de crecimiento disminuye, esta concentración de mercurio aumenta drásticamente. La concentración de mercurio se incrementa de niveles menores a 50 ng de Hg/g en peso húmedo, en peces jóvenes, a niveles que llegan desde 50 hasta 120 ng de Hg/g en peso húmedo, en adultos (Figura 13c).

La acumulación de mercurio, respecto al largo de los peces en *Colossoma macropomum*, en las cuencas de los ríos Iténez y Mamoré (Figuras 14a y 14b), es muy similar en los machos y en las hembras, aunque para comparar y realizar una buena apreciación, necesitamos muestras tanto de hembras como machos a lo largo de toda la curva.

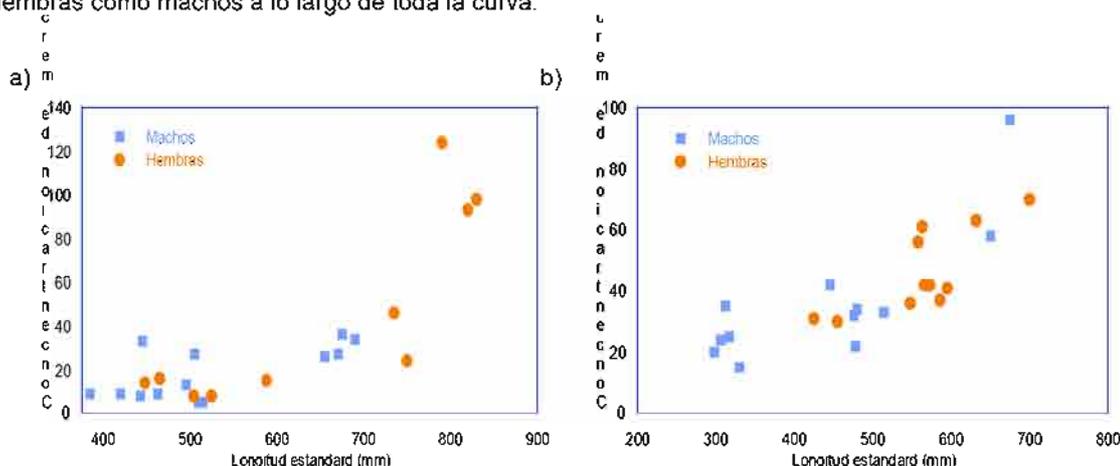


Figura 14. Relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en *Colossoma macropomum*. a) Cuenca del Iténez. b) Cuenca del Mamoré. Campañas: abril a octubre de 2002.

5.1.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.1.2.1. Relación de la concentración de mercurio y la longitud

El análisis de varianza de la regresión múltiple (Tabla 6), nos indica que la correlación entre las variables: concentración de mercurio y longitud estándar, es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 99% ($R^2 = 70.65\%$ y $P < 0.01$).

Tabla 6. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la longitud estándar para *Colossoma macropomum*, en la cuenca del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Modelo	28240,99	5	7,77	31,4	0,0000
Residual	44,10	58	1,07		
Total (Corr.)	1245431,94	63			

$R^2 = 73.02\%$

R^2 (ajustado por G.L.) = 70.65 %

Error estándar de la estimación = 0.17

Media absoluta del error = 0.12

Eliminando los parámetros que no son significativos estadísticamente, la ecuación del modelo en base logarítmica para las tres cuencas: Iténez, Mamoré y Madre de Dios, se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.18 + 0.0020 \cdot \text{LSC} + 0.0000045 \cdot \text{LSC}^2 + 0.44 \cdot \text{Mamoré} + 0.30 \cdot \text{Madre de Dios} - 0.0015 \cdot \text{Madre de Dios} \cdot \text{LSC}$$

Donde:

LSC : Longitud estándar centrada y reducida

Los intervalos de confianza al 95% para los coeficientes estimados del anterior modelo (Iténez, Mamoré, Madre de Dios, Longitud estándar centrada y Longitud estándar centrada al cuadrado), se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7 Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la Longitud estándar y la concentración de mercurio en *Colossoma macropomum*. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Iténez	1.18	0,041	1,09	1,27
LSC	0,0020	0,00019	0,0016	0,0023
LSC ²	0,0000045	0,0000011	0,0000022	0,0000066
Mamoré	0,44	0,051	0,34	0,53
Madre de Dios	0,30	0,070	0,16	0,43
Madre de Dios * LSC	-0,0015	0,00061	-0,0027	-0,00019

La anterior ecuación, sigue un modelo cuadrático, por consiguiente, la correlación es curvilínea. La ecuación en base logarítmica para las tres cuencas, se describe a continuación:

$$\text{Log}_{10}(\text{Hg}) = 1.47 - 0.0030 \cdot \text{LS} + 0.0000045 \cdot \text{LS}^2 + 0.44 \cdot \text{Mamoré} + 1.14 \cdot \text{Madre de Dios} - 0.0015 \cdot \text{Madre de Dios} \cdot \text{LS}$$

Donde:

LS = Longitud estándar

Los modelos curvilíneos ajustados estadísticamente, para las tres cuencas de estudio en base logarítmica y transformados a los datos reales, se muestran en las Figuras 15a y 15b, respectivamente. En los modelos de acumulación de mercurio por longitud estándar, los valores del eje x, representan a la longitud estándar en milímetros y los valores del eje y, muestran los niveles de concentración de mercurio en ng/g en peso húmedo.

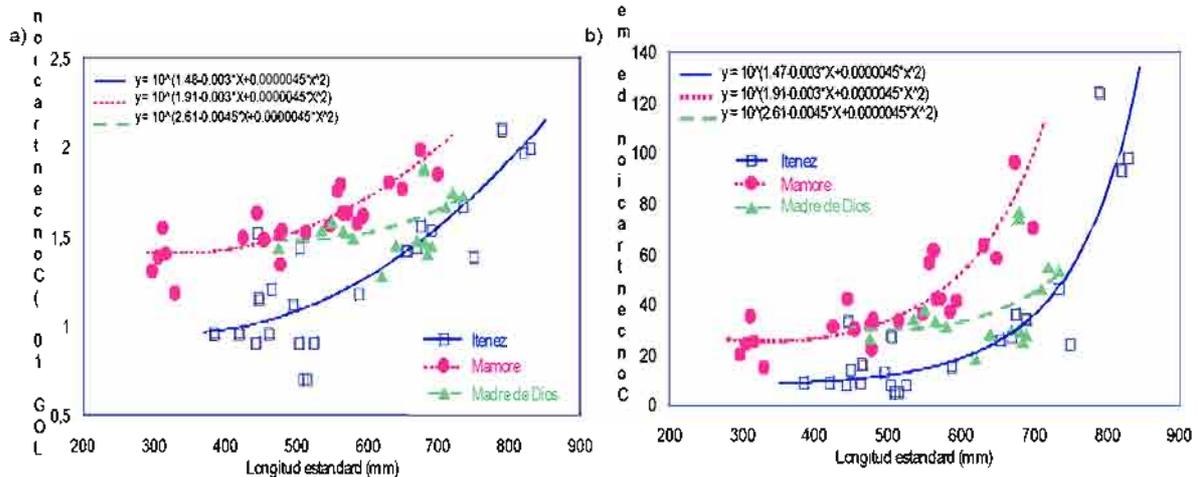


Figura 15. Modelos ajustados de la absorción de mercurio, en relación a la longitud estándar, en *Colossoma macropomum*, en las Cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. a) Relación de datos en base logarítmica b) Relación de datos originales. Campañas: abril a diciembre de 2002.

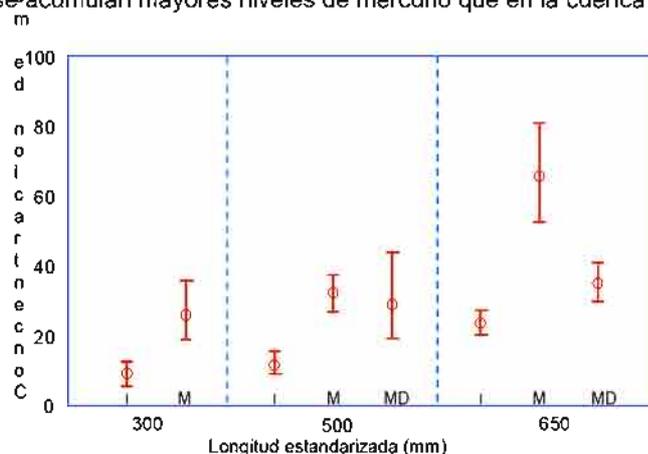
Como se observa en la Tabla 8, si analizamos la posición de las curvas de la cuenca del Mamoré y Madre de Dios, son estadísticamente iguales, pero diferentes a la de la cuenca del Iténez. Por otra parte, la forma de las curvas, es diferente en las tres cuencas.

Tabla 8. Forma y posición de las curvas de los parámetros longitud versus concentración de mercurio, para *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios.

Cuenca	Iténez	Mamoré	Madre de Dios
N	23	24	17
Posición	a	b	b
Forma	b	c	a

N = Número de muestras analizadas

La comparación de las curvas de las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios de acuerdo a longitudes estandarizadas de 300, 500 y 650 mm, en *Colossoma macropomum* (Figura 16 y Tabla 9), indica que a estas tres longitudes, la concentración de mercurio es diferente estadísticamente en las tres cuencas, excepto en la cuenca del Madre de Dios, donde a los 500 mm de longitud estandarizada, los niveles de mercurio son iguales que en la cuenca del Mamoré. En la tres longitudes estandarizadas, en la cuenca del Mamoré, se acumulan mayores niveles de mercurio que en la cuenca del Iténez.



Las líneas verticales representan el intervalo de confianza, alrededor del nivel medio estimado (o). La sobreposición de las líneas verticales indica la igualdad estadística.

Figura 16. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la longitud estandarizada (300, 500 y 650 mm), en *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña abril-diciembre de 2002.

Tabla 9. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.

Cuenca	Iténez		Mamoré		Madre de Dios		Iténez	Mamoré	Madre de Dios
	b	a	b	a	a	c			
Longitud estándar (mm)	300		500		650				
Nivel estimado	9,29	25,85	11,62	32,33	28,88	23,63	65,72	34,98	
Límite mínimo	6,37	18,39	9,57	27,07	19,15	19,73	53,08	28,90	
Límite máximo	13,55	36,34	14,12	38,62	43,54	28,30	81,28	42,34	

Letras iguales, indica igualdad estadística en los niveles de mercurio.

5.1.2.2. Relación de la concentración de mercurio y la edad

Para el modelo de la relación entre los niveles de mercurio y la edad, el análisis de varianza (Tabla 10), muestra los valores de $R^2=69.26\%$ y $P<0.01$, lo cual nos indica que la relación entre las variables, es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 99%.

Tabla 10. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la edad para *Colossoma macropomum* en la cuenca del Iténez, Mamoré y Madre de Dios Campaña: abril a diciembre de 2002.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Modelo	18605,8	4	11,35	35,92	0,0000
Residual	50,53	58	1,07		
Total (Corr)	839054,16	62			

$R^2 = 71.24\%$

R^2 (ajustado por G.L.) = 69.26 %

Error estándar de la estimación = 0.17

Media absoluta del error = 0.12

La ecuación del modelo eliminando los coeficientes no significativos, es la siguiente:

$$\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 1.27 + 0.084 \cdot \text{EC} + 0.43 \cdot \text{Mamoré} + 0.24 \cdot \text{Madre de Dios} - 0.057 \cdot \text{Madre de Dios} \cdot \text{EC}.$$

Donde:

EC : Edad centrada y reducida

La ecuación en base logarítmica, muestra que el modelo de la relación entre la concentración de mercurio y la edad, sigue una regresión lineal. En la Tabla 11, observamos los intervalos de confianza al 95% para los coeficientes del modelo en base logarítmica del análisis de la regresión múltiple.

Tabla 11 Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la edad y la concentración de mercurio en *Colossoma macropomum* Campaña: abril a diciembre de 2002.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Iténez	1,27	0,036	1,20	1,34
EC	0,084	0,0084	0,067	0,11
Mamoré	0,43	0,053	0,33	0,54
Madre de Dios	0,24	0,060	0,12	0,36
Madre de Dios * EC	-0,057	0,017	-0,09	-0,023

La ecuación de la relación entre los niveles de concentración de mercurio y la edad para *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, es la siguiente:

$$\text{Log } 10 (\text{Hg}) = 0.66 + 0.094 \cdot E + 0.59 \cdot \text{Mamoré} + 0.67 \cdot \text{Madre de Dios} + 0.029 \cdot E \cdot \text{Mamoré} - 0.066 \cdot E \cdot \text{Madre de Dios}$$

Donde:

E: Edad

Las Figuras 17a, muestra la acumulación de mercurio en base logarítmica, las curvas son lineales, como la anterior ecuación lo describe, sin embargo, transformando los datos a la inversa del logaritmo en base 10, podemos observar las relaciones entre los niveles de mercurio y la longitud estándar de los peces, como regresiones curvilineales (Figura 17b).

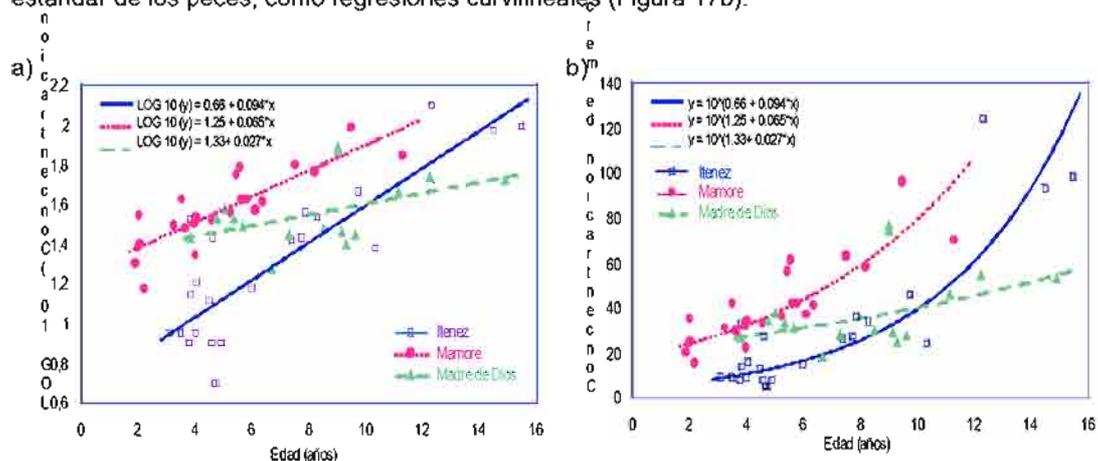


Figura 17. Modelo ajustado de la absorción de mercurio, en relación a la edad, en *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. a) Relación de datos en base logarítmica b) Relación de datos originales. Campañas: abril a diciembre de 2002.

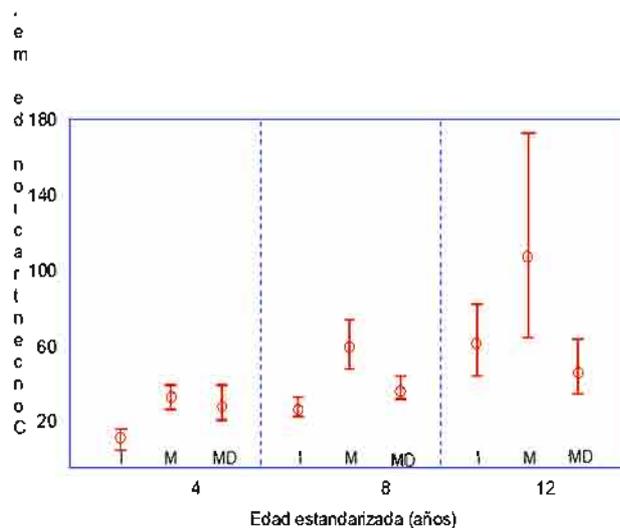
El resultado de la comparación de líneas a través del análisis de varianza (datos transformados por el logaritmo en base 10), indica que los términos en el modelo son estadísticamente significativos. Como se observa en la Tabla 12, el valor de P, es menor a 0.01, tanto para las pendientes, como para las intercepciones de las curvas, por lo cual, existen diferencias significativas a un nivel de confianza del 99% entre dichas pendientes e interceptos.

Tabla 12. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro: edad.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Edad	118.72	1	118.72	72.68	0,0000
Interceptos	65.14	2	8.07	31.77	0,0000
Pendientes	2.56	2	1.60	7.16	0,0017
Modelo	19809.80	5			

La comparación de las curvas, a diferentes edades estandarizadas, con un intervalo de confianza del 95% (Figura 18 y Tabla 13), nos muestra que a los cuatro años de edad, los niveles de mercurio en las cuencas del Mamoré y Madre de Dios, son estadísticamente iguales y presentan mayores niveles que en la cuenca del Iténez, que se diferencia de las otras cuencas.

Entre las cuencas del Iténez y Madre de Dios, para las edades de 8 y 12 años, las curvas son iguales estadísticamente. No se comparó, con la cuenca del Mamoré, debido a que no se colectaron muestras comprendidas en estas edades en esta cuenca.



Las líneas verticales representan el intervalo de confianza, alrededor del nivel medio estimado (o). La sobreposición de las líneas verticales indica la igualdad estadística.

Figura 18. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la edad estandarizada (4, 8 y 12 años), para *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril-diciembre de 2002.

Tabla 13 Comparación de la absorción de mercurio por la edad estandarizada al 95 % de probabilidad en *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril-diciembre de 2002.

Cuenca	Madre de Dios			Madre de Dios			Madre de Dios		
	Iténez	Mamoré	Dios	Iténez	Mamoré	Dios	Iténez	Mamoré	de Dios
	b	a	a	b	a	b	ab	a	b
Edad (años)	4			8			12		
Nivel estimado	10,88	32,59	27,54	25,75	59,06	35,41	60,95	107,02	45,52
Límite mínimo	8,87	27,38	19,67	21,65	44,67	29,30	45,40	64,94	33,07
Límite máximo	13,34	38,79	39,56	30,63	75,86	42,78	81,84	176,37	62,67

Letras iguales, indica igualdad estadística en los niveles de mercurio.

5.2. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN *Cichla monoculus* (Tucunaré)

5.2.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

5.2.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad

La acumulación en la concentración de mercurio respecto a la longitud estándar, el peso y la edad del pez en *Cichla monoculus*, sigue una regresión lineal, donde a medida que van creciendo los peces y aumentan de longitud, peso y edad, existe un incremento proporcional en la concentración de mercurio. Las relaciones entre las concentraciones de mercurio, y los tres parámetros analizados: longitud estándar, peso y edad, además de ser lineales en los tres casos, son muy similares (Figuras: 19a, 19b y 19c).

La alimentación en la cuenca del Iténez en *Cichla monoculus*, entre 150 a 400 mm de longitud estándar, se basa principalmente en ictiofauna, consumen peces enteros, relativamente pequeños (entre 20 a 70 mm de longitud), y adicionan a su dieta invertebrados acuáticos, cuyo consumo se incrementa cuando los individuos pasan de jóvenes a adultos y en adultos disminuye nuevamente. En las clases de

300 a 400, solo se obtuvo una sola muestra, por lo tanto los resultados obtenidos solo representan a este individuo (Figura 19a).

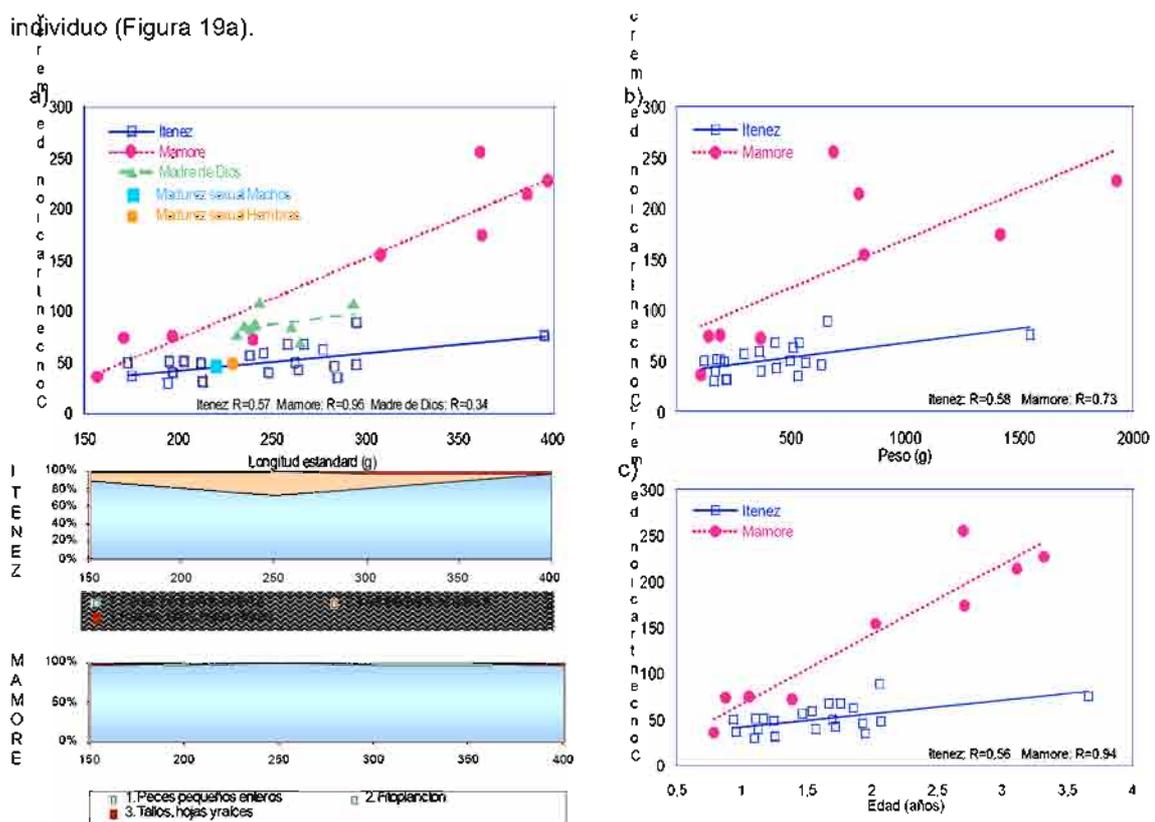


Figura 19. Concentración de mercurio en *Cichla monoculus*, para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar respecto a la alimentación. b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002.

En la cuenca del Mamoré, entre las longitudes de 200 a 300 mm de largo, no se obtuvieron muestras, en las otras longitudes, se observa que esta especie, se alimenta exclusivamente de peces enteros y pequeños (entre 30 a 60 mm de longitud). Existe una proporción muy baja, de fitoplancton y tallos, hojas y raíces de vegetales terrestres en el contenido estomacal, presentando valores del 1.3 y 1%, para fitoplancton y vegetales, respectivamente.

La acumulación de mercurio en la cuenca del Iténez, basada en una alimentación de peces y fauna béntica es menor que en la cuenca del Mamoré, donde los niveles de mercurio son más elevados y cuya alimentación se basa exclusivamente en peces.

La madurez sexual, en *Cichla monoculus*, en la cuenca del Iténez (220 mm en machos y 230 mm en hembras, según comunicación personal con el Lic. Huáscar Muñoz), no tiene influencia en un incremento o disminución de los niveles de acumulación de Mercurio. En la cuenca del Mamoré, no se estudió aspectos de reproducción es en esta especie. La maduración sexual, ni el incremento de fauna béntica durante la maduración sexual, parecen influir en algún cambio de la curva de acumulación de mercurio (Figura 19a).

5.2.1.2. Relación de la bioacumulación de mercurio y el crecimiento

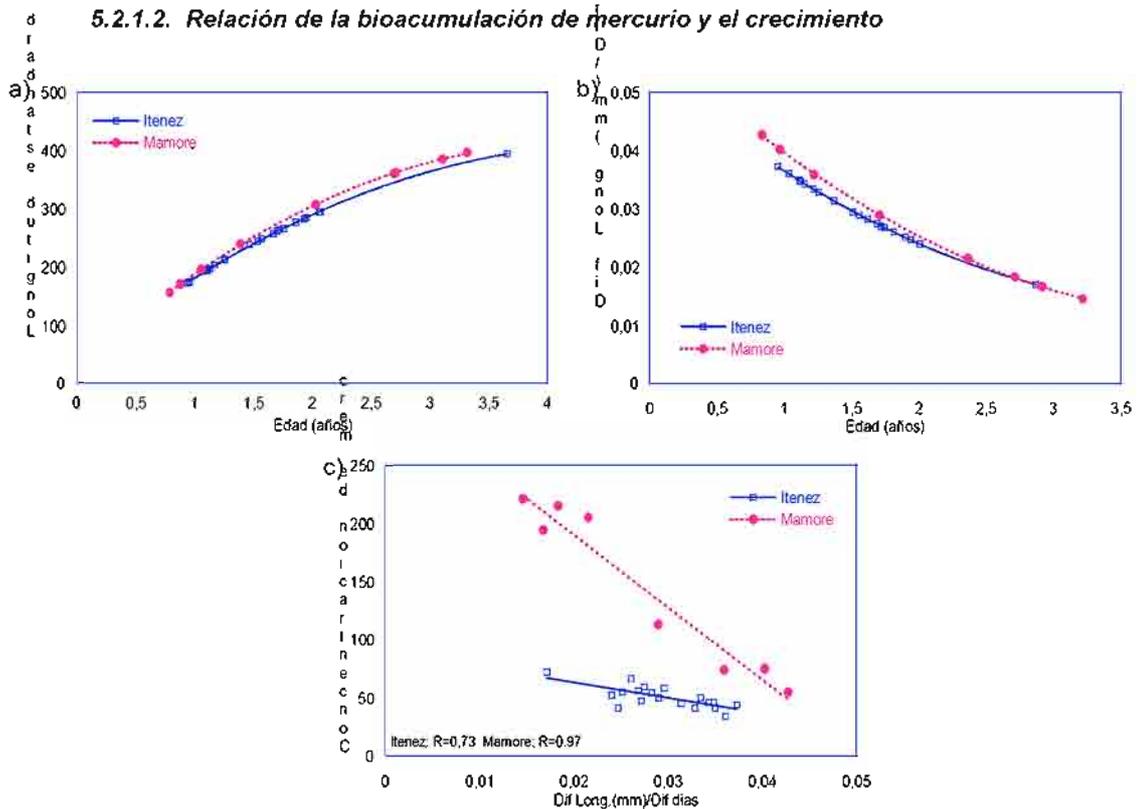


Figura 20. Crecimiento de *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez y Mamoré a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento. c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a diciembre de 2002

El crecimiento y la tasa de crecimiento en *Cichla monoculus* en las cuencas del Iténez y Mamoré son similares, con un ligero aumento en la cuenca del Mamoré (Figuras 20a y 20b), sin embargo la acumulación de mercurio de acuerdo a la tasa de crecimiento es mucho mayor en la cuenca del Mamoré (Figura 20c).

La curva de la tasa de crecimiento (Figura 20b) disminuye, proporcionalmente a medida que aumenta la edad, esta curva muestra cierta linealidad, que se asemeja a las curvas de acumulación de mercurio respecto a la tasa de crecimiento (Figura 20c). En la misma Figura, observamos además, la relación lineal que existe entre la acumulación de mercurio y la tasa de crecimiento, donde a una menor tasa de crecimiento se presenta una mayor acumulación de mercurio en los peces.

La relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en *Cichla monoculus*, en la cuenca del Iténez y del Mamoré, no muestra diferencias claras entre machos y hembras, ambas curvas son muy similares. Por otra parte, el número de muestras de machos y hembras es bajo para obtener un resultado claro, principalmente en la cuenca del Mamoré, donde únicamente se recolectaron dos hembras (Figuras 21a y 21b).

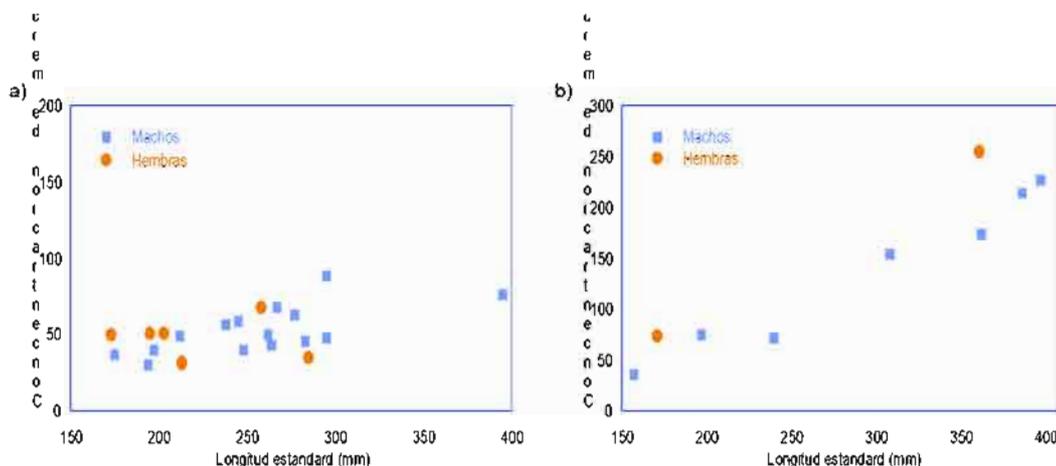


Figura 21. Relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en *Cichla monoculus*. a) Cuenca del Iténez. b) Cuenca del Mamoré. Campañas: abril a octubre de 2002.

5.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.2.2.1. Relación de la concentración de mercurio y la longitud

El análisis estadístico de la relación de los niveles de mercurio por la longitud estándar de los peces, nos indica que la correlación entre estas variables es estadísticamente significativa ($R^2=90.17$ y $P<0.01$), a un nivel de confianza del 99% (Tabla 14).

Tabla 14. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la longitud estándar para *Cichla monoculus* en la cuenca del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Modelo	102464,00	4	25616,00	90,44	0,0000
Residual	9912,96	35	283,23		
Total (Corr.)	112377,00	39			

$R^2 = 91.18\%$
 R^2 (ajustado por G.L.) = 90.17 %
 Error estándar de la estimación = 16.83
 Media absoluta del error = 11.53

La ecuación de la relación entre el nivel de mercurio y la longitud, eliminando los coeficientes estimados no significativos del modelo, se presenta a continuación:

$$Hg = 52.39 + 0.17 \cdot LSC + 65.27 \cdot \text{Mamoré} + 36.60 \cdot \text{Madre de Dios} + 0.62 \cdot \text{Mamoré} \cdot LS$$

Donde:

LS : Longitud estándar

LSC : Longitud estándar centrada y reducida

En la Tabla 15, observamos los intervalos de confianza al 95% para los coeficientes estimados de mercurio del modelo presentado anteriormente, que nos indica que la relación entre los niveles de mercurio y la longitud estándar en *Cichla monoculus* para las tres cuencas de estudio, es lineal.

Tabla 15. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la longitud estándar y la concentración de mercurio en *Cichla monoculus*. Campaña: abril a diciembre de 2002

Fuente	Estimación	Error estándar	límite inferior	límite superior
Iténez	52.39	3.66	44.96	59.87
LSC	0.17	0.070	0.031	0.31
Mamoré	65.27	6.97	51.12	79.43
Madre de Dios	36.60	6.67	23.06	50.13
Mamoré*LSC	0.62	0.093	0.43	0.81

El modelo para las regresiones lineales, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, muestra la siguiente expresión:

$$\text{Hg} = 9.12 + 0.17 \cdot \text{LS} - 92.92 \cdot \text{Mamoré} + 20.56 \cdot \text{Madre de Dios} + 0.62 \cdot \text{LS} \cdot \text{Mamoré} + 0.064 \cdot \text{Madre de Dios}$$

Donde .

LS : Longitud estándar

Las curvas lineales para la relación de los niveles de mercurio por el largo de los peces, en *Cichla monoculus* y las ecuaciones para las tres cuencas se muestran en la Figura 22.

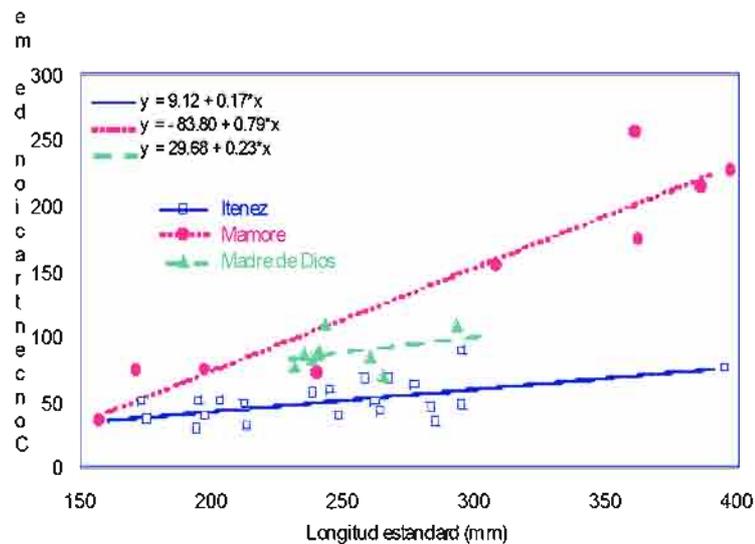


Figura 22. Modelo ajustado de la absorción de mercurio en relación a la longitud estándar en *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002

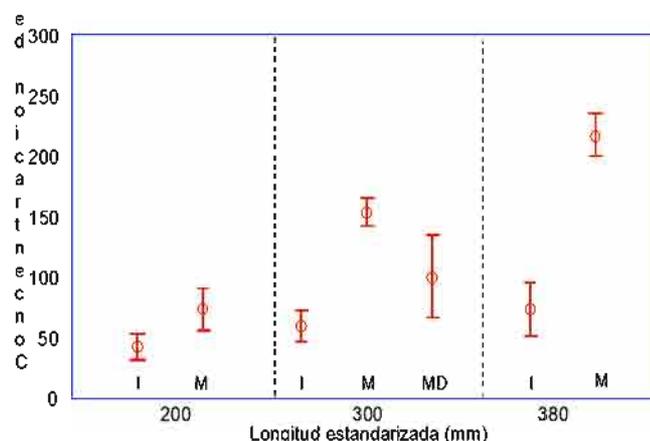
El análisis de varianza para la comparación entre los interceptos y pendientes de las curvas, nos indica que los términos en el modelo son estadísticamente significativos. El valor de P, es menor a 0.01, tanto para las pendientes, como para las intercepciones de las curvas, por lo cual existe diferencias significativas a un nivel de confianza del 99% entre dichas pendientes e interceptos (Tabla 16).

Tabla 16. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro longitud estándar.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Longitud estándar	59343,4	1	59343,4	203,79	0,0000
Interceptos	30707,3	2	15353,6	52,73	0,0000
Pendientes	12425,8	2	6212,88	21,34	0,0000
Modelo	102476,0	5			

La comparación de los niveles estimados de mercurio y los límites de confianza, al 95%, en *Cichla monoculus*, para las longitudes estandarizadas de 200, 300 y 380 mm de longitud estándar, nos indica que en las cuencas del Iténez y del Mamoré, la acumulación de mercurio es estadísticamente diferente.

Por otra parte, a los 300 mm de longitud estándar, los niveles en el Madre de Dios, son los mismos que los niveles de mercurio, presentes en las cuencas del Iténez y Madre de Dios (Figura 23 y Tabla 17).



Las líneas verticales representan el intervalo de confianza alrededor del nivel medio estimado (o). La sobreposición de las líneas verticales indica la igualdad estadística.

Figura 23. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la longitud o largo estandarizado (200, 300 y 380 mm), en *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril-diciembre de 2002.

Tabla 17. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.

Cuenca	Iténez	Mamoré	Iténez	Mamoré	Madre de Dios	Iténez	Mamoré
	b	a	b	a	ab	b	a
Longitud estándar (mm)	200		300			380	
Nivel estimado	42,99	74,03	59,93	152,94	99,79	73,48	216,08
Límite mínimo	33,07	58,05	48,94	141,26	66,46	52,22	199,48
Límite máximo	52,91	90,00	70,92	164,63	133,12	94,73	232,67

Letras iguales, indica igualdad estadística en los niveles de mercurio.

5.2.2.2. Relación de la concentración de mercurio y la edad

El análisis de varianza de la regresión múltiple, muestra los valores del coeficiente de correlación $R^2 = 90.99$ y el valor de $P < 0.01$, lo que indica que la relación entre las variables de concentración de mercurio y edad, es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 99% (Tabla 18).

Tabla 18. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la edad para *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Modelo	101275,0	3	33758,5	101,68	0,0000
Residual	8964,04	27	332,002		
Total (Corr.)	110239,00	30			

$R^2 = 91.89\%$

R^2 (ajustado por G.L.) = 90.99 %

Error estándar de la estimación = 18.19

Media absoluta del error = 13.24

Eliminando los parámetros que no son significativos estadísticamente, la ecuación del modelo es la siguiente:

$$\text{Hg} = 52.24 + 14.64 \cdot \text{EC} + 68.11 \cdot \text{Mamoré} + 61.45 \cdot \text{Mamoré} \cdot \text{EC}$$

Donde:

EC : Edad centrada y reducida

La ecuación del modelo, en *Cichla monoculus*, para las tres cuencas analizadas: Iténez, Mamoré y Madre de Dios, describe que la relación entre los niveles de mercurio y la edad de los peces, sigue una regresión lineal.

En la Tabla 19, el análisis de varianza del modelo, describe los coeficientes de los niveles estimados de mercurio, el error estándar y los límites de confianza al 95%, es decir el límite inferior y el límite superior, para las estimaciones del modelo.

Tabla 19. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la edad y la concentración de mercurio en *Cichla monoculus*. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Iténez	52,24	3,96	44,12	60,37
EC	14,64	6,82	0,65	28,62
Mamoré	68,11	7,49	52,75	83,48
Mamoré*EC	61,45	9,39	42,18	80,73

Según la comparación de regresión múltiple, la relación entre los niveles de mercurio y la edad de los peces, para *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez y Mamoré, se expresa de la siguiente forma:

$$Hg = 27.08 + 14.68 \cdot E - 36.81 \cdot \text{Mamoré} + 61.35 \cdot E \cdot \text{Mamoré}$$

Donde:

E: Edad

De acuerdo a la anterior ecuación, las ecuaciones y las curvas de las regresiones lineales entre la concentración de mercurio y la edad de los peces, para las cuencas del Iténez y Mamoré, en *Cichla monoculus*, se muestran en la Figura 24.

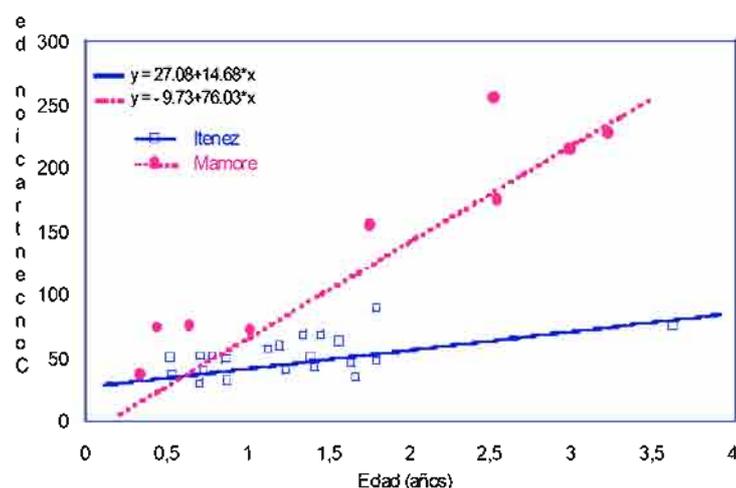


Figura 24. Modelo ajustado de la absorción de mercurio en relación a la edad para *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campañas: abril a diciembre de 2002

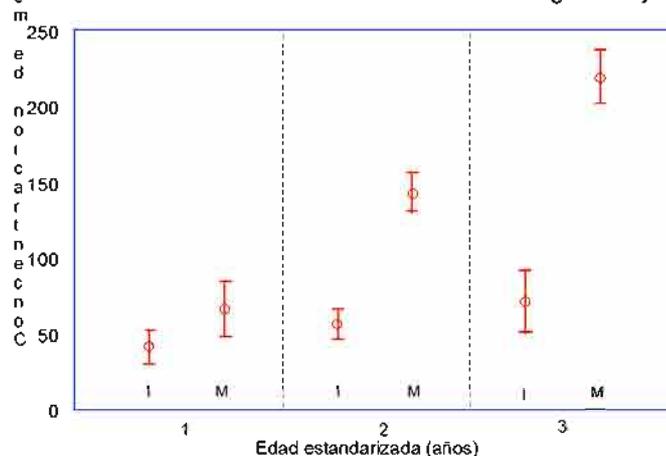
El análisis de varianza de la comparación de las regresiones lineales, muestra que el modelo es estadísticamente significativo para las variables estudiadas. Por otro lado, los interceptos y las pendientes muestran un valor de $P < 0.01$, por tanto la curva de concentración de mercurio y edad del pez en la cuenca del Iténez, es estadísticamente diferente a un nivel de significancia del 99%, a la curva de la cuenca del Mamoré (Tabla 20).

Tabla 20. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Longitud estándar	59343,4	1	59343,4	203,79	0,0000
Interceptos	30707,3	2	15353,6	52,73	0,0000
Pendientes	12425,8	2	6212,88	21,34	0,0000
Modelo	102476,0	5			

La comparación de las curvas de las relaciones entre los niveles de mercurio y la edad, en las cuencas del Iténez y Mamoré, indica que al año de edad, los peces de *Cichla monoculus*, acumulan las

mismas concentraciones de mercurio en las dos cuencas, mientras que a los dos y tres años de edad, los peces del Mamoré acumulan mayores concentraciones de mercurio que en la cuenca del Iténez. Las concentraciones en la cuenca del Iténez, además de ser estadísticamente diferentes a un nivel de confianza del 95%, son niveles mucho más elevados como muestra la Figura 25 y la Tabla 21.



Las líneas verticales representan el intervalo de confianza alrededor del nivel medio estimado (o). La sobreposición de las líneas verticales indica la igualdad estadística.

Figura 25. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la edad estandarizada (1, 2 y 3 años), para *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Tabla 21. Comparación de la absorción de mercurio por la edad estandarizada al 95 % de probabilidad en *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.

Cuenca	Iténez a	Mamoré a	Iténez b	Mamoré a	Iténez b	Mamoré a
Edad (años)	1		2		3	
Nivel estimado	41,76	66,30	56,44	142,33	71,11	218,36
Límite mínimo	30,18	48,14	46,73	129,89	50,01	200,20
Límite máximo	53,34	84,46	66,15	154,77	92,21	236,52

Letras iguales, indica igualdad estadística en los niveles de mercurio.

5.3. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN *Pygocentrus nattereri* (Piraña)

5.3.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

5.3.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad

En la especie de *Pygocentrus nattereri*, las curvas de la acumulación de mercurio respecto a la longitud estándar, el peso y la edad en las muestras recolectadas, sigue una relación curvilínea, muy parecidas en las tres relaciones mostradas en las Figuras 26a, 26b y 26c.

Como se puede observar en la Figura 26a, de acuerdo al tamaño de madurez sexual: en machos a los 118.7 mm y en hembras a los 137.6 mm en la cuenca del Iténez y a los 132.8 mm y 139.8 mm de longitud en machos y hembras respectivamente, en la cuenca del Mamoré (Lino, 2003), casi todas las muestras colectadas corresponden a individuos adultos, por lo cual, no se pudo determinar la influencia de la maduración sexual en la acumulación de mercurio en esta especie, por cuanto, los resultados que se han determinado, corresponden únicamente a individuos adultos.

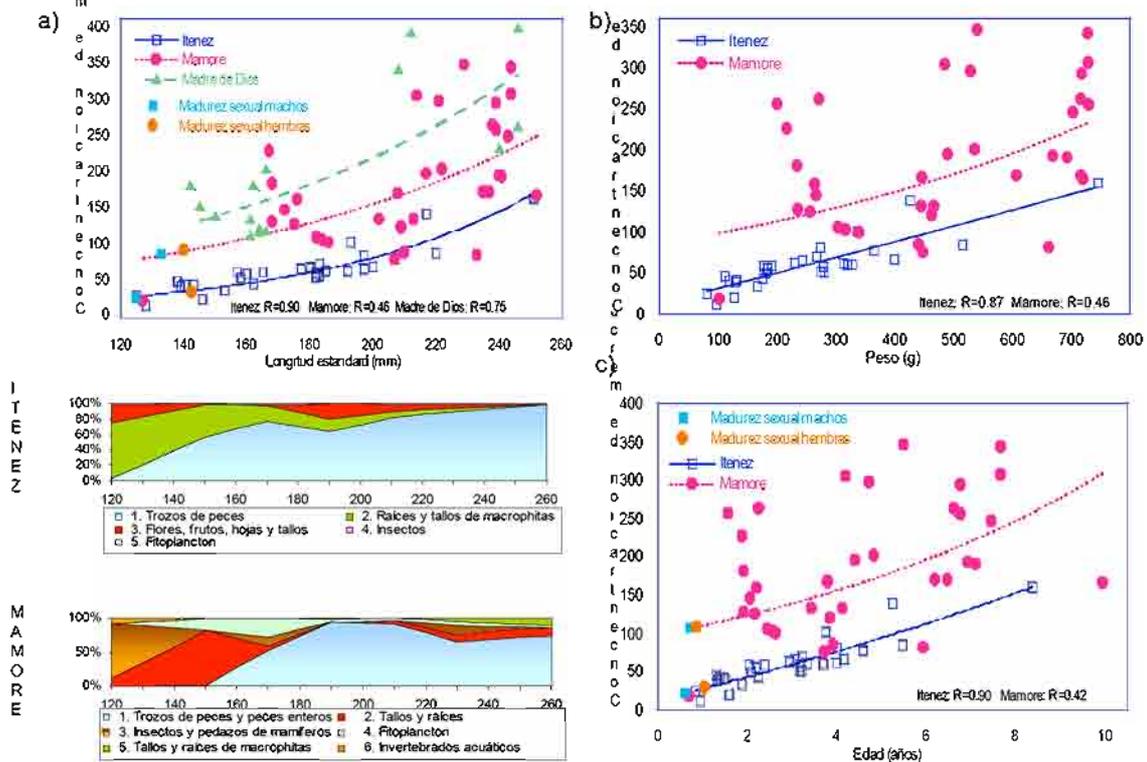


Figura 26. Concentración de mercurio en *Pygocentrus nattereri*, para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar respecto a la alimentación b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002.

En la Figura 26a, observamos que en la cuenca del Iténez, ha medida que van creciendo, existe un cambio de alimentación. Al inicio de la curva, y cuando maduran sexualmente, los individuos se alimentan de macrófitas (raíces y tallos), vegetales terrestres (flores, frutos, hojas y tallos) y bajos porcentajes de insectos terrestres y fitoplancton, los adultos, cambian proporcionalmente de alimentación e incorporan en su dieta ictiofauna (trozos de peces y peces enteros), llegando a ser los peces, su alimento principal.

En la cuenca del Mamoré, los peces de *Pygocentrus nattereri*, incorporan en su dieta, una mayor diversidad y tipos de alimentos, en relación a la cuenca del Iténez. En la primera etapa de adultos, su dieta se basa principalmente en vegetales terrestres (tallos y raíces de plantas), insectos terrestres, pedazos de mamíferos, fitoplancton y una baja proporción de invertebrados acuáticos. A medida que

los adultos se van desarrollando y aumentando de tamaño, empiezan a alimentarse de ictiofauna. El tamaño de sus presas de los que se alimentan (peces enteros o pedazos), aumenta cuando los peces adquieren un mayor tamaño. La ictiofauna llega a ser el alimento principal en adultos, sin embargo, no dejan de consumir otros alimentos en menores proporciones, como tallos y raíces de macrófitas, tallos y raíces de plantas o vegetales terrestres, insectos terrestres y pedazos de mamíferos, roedores y fitoplancton.

En ambos sistemas: Iténez y Mamoré, la especie *Pygocentrus nattereri*, va incorporando ictiofauna en su alimentación, de la misma manera se observa una bioacumulación de mercurio con el incremento del tamaño, sin embargo al no contar con jóvenes, no podemos observar la influencia de alimentación entre jóvenes y adultos.

5.3.1.2. Relación entre la bioacumulación de mercurio, y el crecimiento

El crecimiento, la tasa de crecimiento y la acumulación de mercurio respecto a la tasa de crecimiento en individuos adultos de *Pygocentrus nattereri*, siguen una relación curvilínea (Figuras 27a, 27b y 27c).

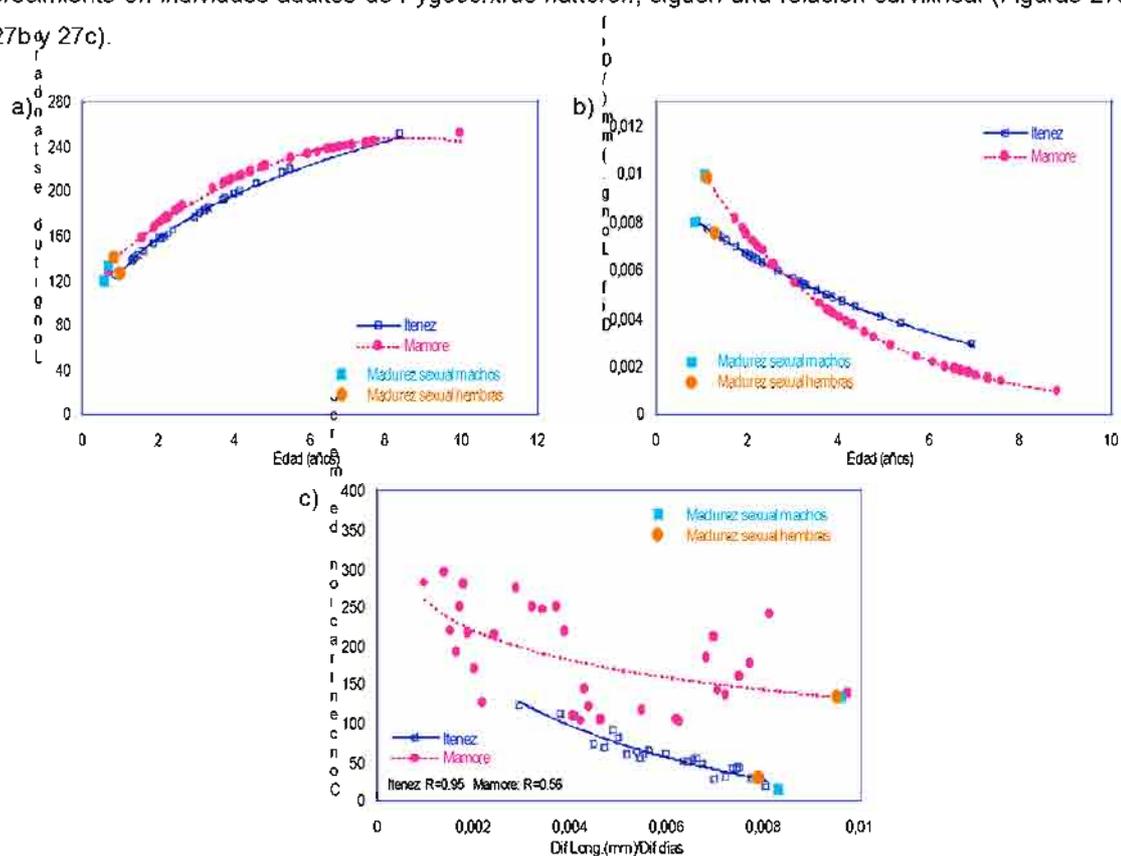


Figura 27. Crecimiento de *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a diciembre de 2002.

En las cuencas del Mamoré y del Iténez, el crecimiento es muy similar (Figura 27a), sin embargo, la tasa de crecimiento en la cuenca del Mamoré es mayor a la cuenca del Iténez al principio de la curva y menor cuando se van desarrollando (Figura 27b).

En el Iténez y Mamoré, la acumulación de mercurio es proporcional (Figura 27c) y similar al cambio gradual de crecimiento descrito en la tasa de crecimiento (Figura 27b), sin embargo, los niveles de concentración de mercurio, son distintos, la concentración de mercurio en los individuos muestreados de *Pygocentrus nattereri*, en la cuenca del Iténez, son menores a los niveles de mercurio encontrados en las muestras colectadas de la cuenca del Mamoré.

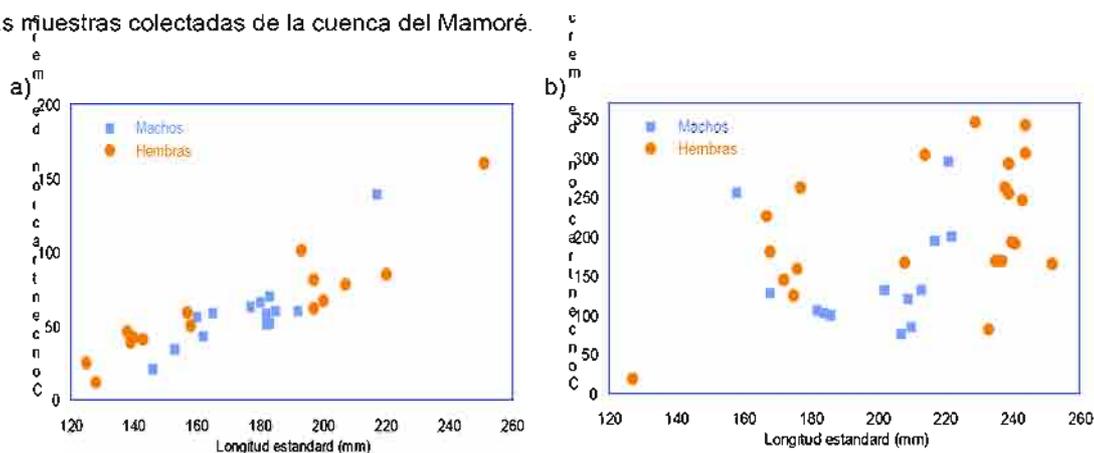


Figura 28. Relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en *Pygocentrus nattereri*. a) Cuenca del Iténez. b) Cuenca del Mamoré. Campañas: abril a octubre de 2002.

En la cuenca del Iténez y en la cuenca del Mamoré, la concentración de mercurio por la longitud estándar en la especie *Pygocentrus nattereri*, no difiere en los machos y en las hembras, aunque en la cuenca del Mamoré se observa variabilidad y dispersión en la acumulación de mercurio en las muestras analizadas (Figuras 28a y 28b).

5.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.3.2.1. Relación de la concentración de mercurio y la longitud

El análisis de la regresión múltiple, indica que el modelo de la relación entre la concentración de mercurio y el parámetro longitud estándar en *Pygocentrus nattereri*, es estadísticamente significativa ($R^2 = 70.29$ y $P < 0.01$), a un nivel de confianza del 99% (Tabla 22)

Tabla 22. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la longitud estándar para *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Modelo	784143.90	3	87127,1	62,52	0,0000
Residual	125366.98	75	22,29		
Total (Corr.)	1536583.37	78			

$R^2 = 71.44\%$

R^2 (ajustado por G.L.) = 70.29 %

Error estándar de la estimación = 2.17

Media absoluta del error = 1.63

La ecuación del modelo en *Pygocentrus nattereri*, para la concentración de mercurio y el parámetro longitud estándar de los peces, previa eliminación de los coeficientes estimados no significativos, describe la siguiente expresión:

$$\text{SQRT Hg} = 8.53 + 0.056 \cdot \text{LSC} + 3.81 \cdot \text{Mamoré} + 5.89 \cdot \text{Madre de Dios}$$

Donde:

LSC : Longitud estándar centrada y reducida

La ecuación descrita, indica que la relación entre la concentración de mercurio y el largo del pez en *Pygocentrus nattereri*, en las tres cuencas, sigue una regresión lineal.

Los intervalos de confianza al 95%, para los coeficientes del modelo descrito anteriormente, y el error estándar del coeficiente estimado para las tres cuencas de estudio y la longitud estándar centrada, se detallan en la Tabla 23.

Tabla 23. Análisis de varianza de la relación de la acumulación de mercurio y la longitud estándar, para *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Limite inferior	Limite superior
Iténez	8,53	0,42	7,68	9,37
LSC	0,056	0,0078	0,041	0,072
Mamoré	3,81	0,60	2,61	5,013
Madre de Dios	5,89	0,69	4,51	7,27

La comparación de las regresiones lineales, muestra como resultado para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, el siguiente modelo:

$$\text{Hg} = - 2.11 + 0.056 \cdot \text{LS} + 5.18 \cdot \text{Mamoré} + 3.57 \cdot \text{Madre de Dios} - 0.0065 \cdot \text{LS} \cdot \text{Mamoré} + 0.013 \cdot \text{LS} \cdot \text{Madre de Dios}$$

Donde:

LS = Longitud estándar

Las curvas de las regresiones entre la concentración de mercurio (transformada por la raíz cuadrada) y la longitud estándar de los peces en *Pygocentrus nattereri*, así como las ecuaciones lineales de las tres curvas, se muestran en la Figura 29a. La transformación de los datos, eliminando la raíz cuadrada utilizada para obtener la normalidad de los mismos, da como resultado regresiones curvilineales, las curvas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios y las ecuaciones se observan en la Figura 29b.

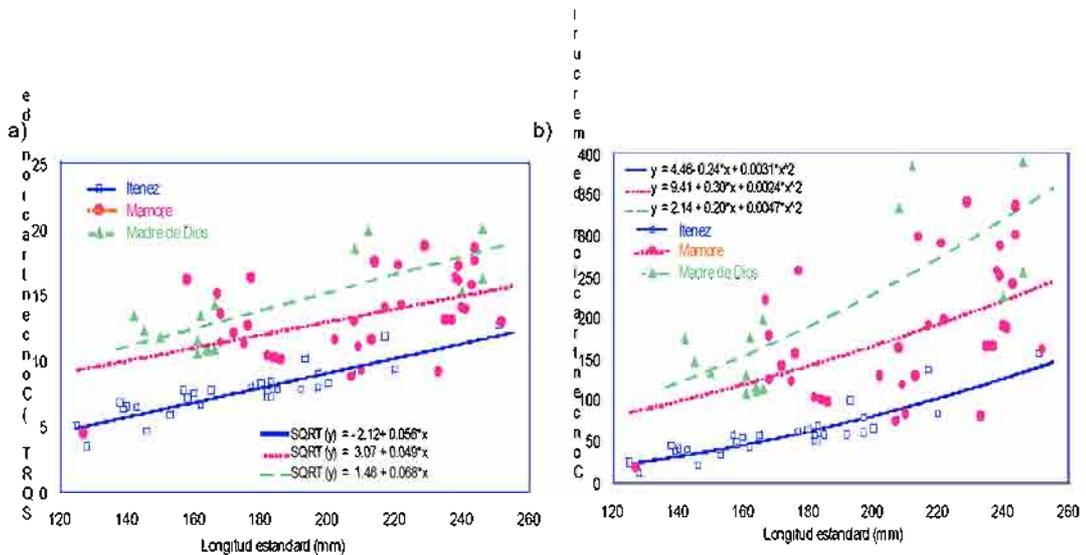


Figura 29. Modelo ajustado de la absorción de mercurio, en relación a la longitud estándar, en *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. a) Relación de dato transformados a raíz cuadrada b) Relación de datos originales (eliminando la raíz cuadrada). Campañas: abril a diciembre de 2002.

Los interceptos de las curvas, según el análisis de varianza de la comparación de las regresiones lineales, son diferentes estadísticamente ($P < 0.01$), a un nivel de significancia del 99%.

Por el contrario, el valor de P de las pendientes que es igual a 0.22, es mayor o igual a 0.10, lo cual significa que no hay diferencias estadísticas significativas entre las pendientes de las curvas de las Cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, en *Pygocentrus nattereri*, a un nivel de confianza del 90% (Tabla 24).

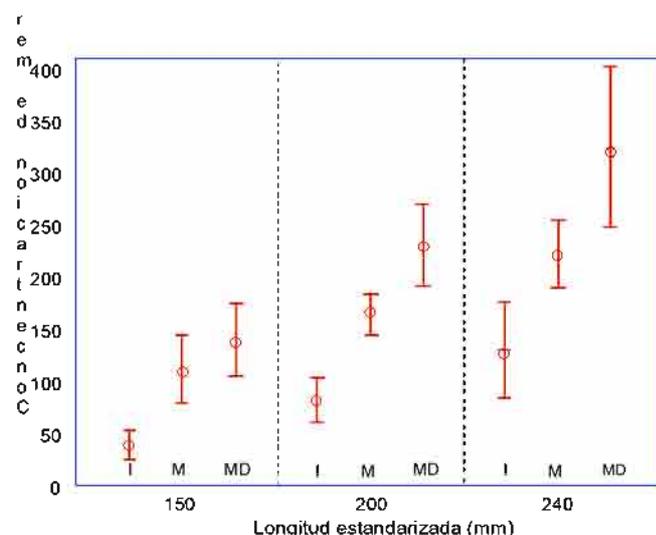
Tabla 24. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro longitud estándar.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Longitud estándar	133934,77	1	133934,77	73,94	0,0000
Interceptos	84771,816	1	84771,816	58,83	0,0000
Pendientes	58,11226	1	58,11226	1,54	0,2194
Modelo	441891,233	3			

Datos transformados (elevando nuevamente al cuadrado)

La comparación de las regresiones lineales por la longitud o largo estandarizado, nos muestra que la comparación a los 150 y 240 mm de largo de los peces, los niveles estimados de mercurio y los intervalos de confianza al 95% en las cuencas del Mamoré y Madre de Dios, se sobreponen, siendo iguales estadísticamente y mayores a la cuenca del Iténez. A los 200 mm de longitud estándar, los niveles de mercurio difieren estadísticamente en las tres cuencas de estudio, siendo mayor, en la cuenca del Madre de Dios.

En la cuenca del Iténez, los niveles de acumulación de mercurio para las tres longitudes estandarizadas, son menores y diferentes estadísticamente a las cuencas del Mamoré y Madre de Dios (Figuras 30 y Tabla 25).



Las líneas verticales representan el intervalo de confianza alrededor del nivel medio estimado (o). La sobreposición de las líneas verticales indica la igualdad estadística

Figura 30. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la longitud o largo estandarizado (150, 200 y 240 mm), en *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril-diciembre de 2002.

Tabla 25. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.

Cuenca	Madre de Dios			Mamoré			Iténez		
	Iténez	Mamoré	Madre de Dios	Iténez	Mamoré	Madre de Dios	Iténez	Mamoré	Madre de Dios
	b	a	a	c	b	a	b	a	a
Longitud estándar (mm)	150			200			240		
Nivel estimado	39,03	109,15	137,60	81,62	166,61	229,62	126,86	221,29	320,09
Límite mínimo	26,99	79,047	104,49	63,41	147,55	193,15	86,30	190,92	248,58
Límite máximo	53,29	144,11	175,27	102,12	186,82	269,23	175,22	253,90	400,64

Letras iguales, indican igualdad estadística en los niveles de mercurio.

5.3.2.2. Relación de la concentración de mercurio y la edad

El análisis de varianza de la regresión múltiple (Tabla 26), muestra que el coeficiente de correlación $R^2 = 67,28$ y el valor de $P < 0,01$, lo cual nos indica que la correlación entre las variables o parámetros del modelo, es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 99%.

Tabla 26. Análisis de varianza de la acumulación de mercurio en relación al parámetro longitud estándar para *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Modelo	431735,73	2	107933,93	65,78	0,0000
Residual	92813,45	61	24,94313		
Total (Corr.)	924903,44	63			

$R^2 = 68,32$ %

R^2 (ajustado por G.L.) = 67,28 %

Error estándar de la estimación = 2,23

Media absoluta del error = 1,55

La ecuación del modelo de la relación entre la concentración de mercurio y la edad de los peces (transformados para su análisis por la raíz cuadrada), en *Pygocentrus nattereri*, eliminando aquellos niveles estimados de mercurio que no presentan significancia, se muestra a continuación:

$$\text{SQRT Hg} = 8,22 + 0,76 \cdot \text{EC} + 4,57 \cdot \text{E} \cdot \text{Mamoré}$$

Donde .

EC : Edad centrada y reducida

La ecuación describe que el modelo de la acumulación de mercurio por la edad de los peces, sigue una regresión lineal.

Los coeficientes estimados por el modelo presentado anteriormente, el error estándar y los límites del intervalo de confianza para los parámetros: Iténez, Mamoré y Edad centrada, se muestran detallados en la Tabla 27.

Tabla 27. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la edad y la concentración de mercurio en *Pygocentrus nattereri*. Campaña: abril a diciembre de 2002

Parámetro	Estimación	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Iténez	8,22	0,43	7,36	9,08
EC	0,76	0,14	0,48	1,04
Mamoré	4,57	0,60	3,37	5,76

La ecuación del modelo del análisis de comparación de regresión lineal en *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez y Mamoré, se expresa a continuación:

$$\text{SQRT Hg} = 4.51 + 1.03 \cdot \text{E} + 5.89 \cdot \text{Mamoré} - 0.38 \cdot \text{Mamoré}$$

Donde:

E = Edad

De la anterior ecuación, se obtuvieron los modelos de las relaciones de la raíz cuadrada de la acumulación de mercurio y la edad de los peces en *Pygocentrus nattereri*, para las cuencas del Iténez y Mamoré, como se observa en esta Figura 31a, las regresiones son lineales.

La Figura 31b, muestra las relaciones de la acumulación de mercurio, transformando nuevamente los datos de raíz cuadrada. Se observa, que con la transformación de los datos a su forma original, es decir elevando al cuadrado, las regresiones son curvilíneas.

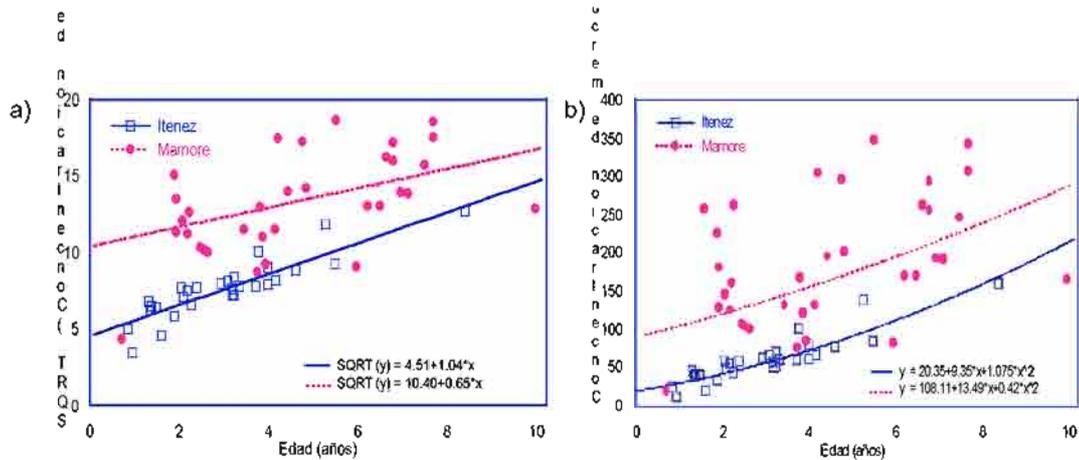
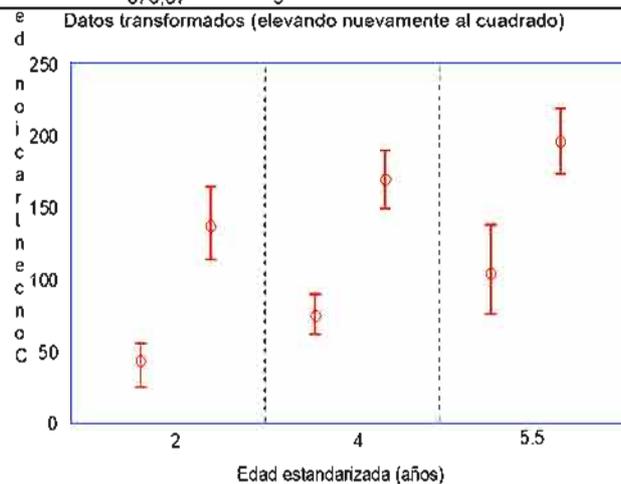


Figura 31. Modelo ajustado de la absorción de mercurio, en relación a la longitud estándar, en *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez y Mamoré. a) Relación de dato transformados a raíz cuadrada b) Relación de datos originales (eliminando la raíz cuadrada). Campañas: abril a diciembre de 2002.

El valor de P, para la comparación de los interceptos es menor a 0.01, por lo cual los interceptos de las curvas de la acumulación de mercurio por la edad de los peces para *Pygocentrus nattereri* en la cuenca del Iténez y Mamoré, son diferentes significativamente, a un nivel de confianza del 99%. El valor de P para las pendientes es mayor o igual a 0.10, por lo tanto, no hay diferencias significativas estadísticamente entre las pendientes de las curvas de las cuencas del Iténez y Mamoré, al 90% o más del nivel de confianza (Tabla 28).

Tabla 28. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para *Cichla monoculus*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro edad.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Edad	471,45	1	471,45	97,26	0,0000
Interceptos	195,91	1	195,91	40,41	0,0000
Pendientes	3,50	1	3,50	0,72	0,40
Modelo	670,87	3			



Las líneas verticales representan el intervalo de confianza alrededor del nivel medio estimado (o). La sobreposición de las líneas verticales indica la igualdad estadística.

Figura 32. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la edad estandarizada (150, 200 y 240 mm), en *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campaña: abril-diciembre de 2002.

Tabla 29. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en *Pygocentrus nattereri*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.

Cuenca	Iténez b	Mamoré a	Iténez b	Mamoré a	Iténez b	Mamoré a
Edad (años)	2		4		5.5	
Nivel estimado	43,25	136,78	74,68	168,82	103,85	195,05
Límite mínimo	31,35	111,85	58,77	149,44	74,86	172,61
Límite máximo	57,05	164,21	92,48	189,38	137,56	218,87

Letras iguales, indica igualdad estadística en los niveles de mercurio.

La comparación de las regresiones lineales en *Pygocentrus nattereri*, según las edades estandarizadas, indica que a los 2, 4 y 5,5 años de edad de los peces, los niveles de mercurio son menores en la cuenca del Iténez a un nivel de confianza del 95% (Figura 32 y Tabla 29).

5.4. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí)

5.4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

5.4.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad

En *Pseudoplatystoma fasciatum*, las relaciones entre la concentración de mercurio y las variables: longitud estándar, y edad, son curvilineales, por el contrario, la relación entre los niveles de mercurio y el peso, expresa relaciones lineales (Figuras 29a, 29b y 29c). En las tres Figuras, se observa que a medida que los individuos se van desarrollando, existe un incremento en la concentración de mercurio.

En las cuencas del Iténez y Mamoré, la especie *Pseudoplatystoma fasciatum* se alimenta exclusivamente de ictiofauna, aunque en la cuenca del Iténez, únicamente se pudo tener resultados de la alimentación, entre los 600 a 700 mm de longitud de los peces, los individuos de otros tamaños estaban con los estómagos completamente vacíos (Figura 29a).

En la cuenca del Mamoré, si bien, en el contenido estomacal de los peces colectados, se observó cantidades pequeñas de fitoplancton, éstas provienen del fitoplancton adherido a las escamas de sus presas, y de los estómagos que se encontraban en pleno proceso de digestión. En ambas cuencas, esta especie se alimenta de peces enteros, y ha medida que van creciendo prefieren alimentarse de peces de mayor tamaño.

La maduración sexual en *Pseudoplatystoma fasciatum*, a partir de los 55 cm de longitud, en machos y 73 cm de longitud, en hembras en la cuenca del Mamoré (Loubens y Panfili, 2000), no parece influir en algún cambio en la acumulación de la concentración de mercurio, la acumulación es proporcional entre jóvenes y adultos (Figura 33a).

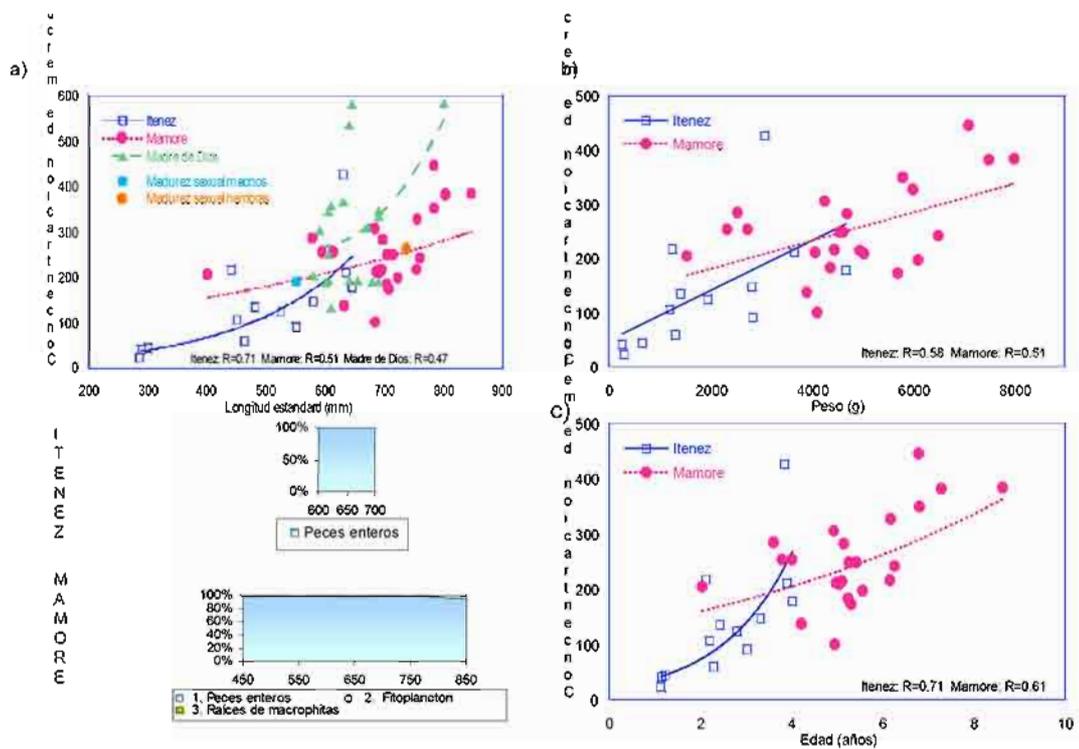


Figura 33. Concentración de mercurio en *Pseudoplatystoma fasciatum*, para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar respecto a la alimentación. b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002

5.4.1.2. Relación entre la bioacumulación de mercurio, y el crecimiento

Las curvas de crecimiento y la tasa de crecimiento muestran relaciones curvilineales y la acumulación de mercurio según la tasa de crecimiento, relaciones lineales. El crecimiento aumenta con la edad, la tasa de crecimiento disminuye con la edad y la acumulación de mercurio es mayor cuando la tasa de crecimiento disminuye.

Las curvas de crecimiento, la tasa de crecimiento y la acumulación de mercurio según la tasa de crecimiento, en las cuencas del Iténez y Mamoré son similares (Figuras 34a, 34b y 34c), aunque se puede observar que el crecimiento es ligeramente mayor en el Iténez en el inicio de la curva.

La acumulación de mercurio es proporcional, ha medida que disminuye la tasa de crecimiento (Figura 34c), esta relación, es muy similar a la tasa de crecimiento por la edad (Figura 34b) donde ha medida que los peces se desarrollan, la tasa de crecimiento disminuye también proporcionalmente.

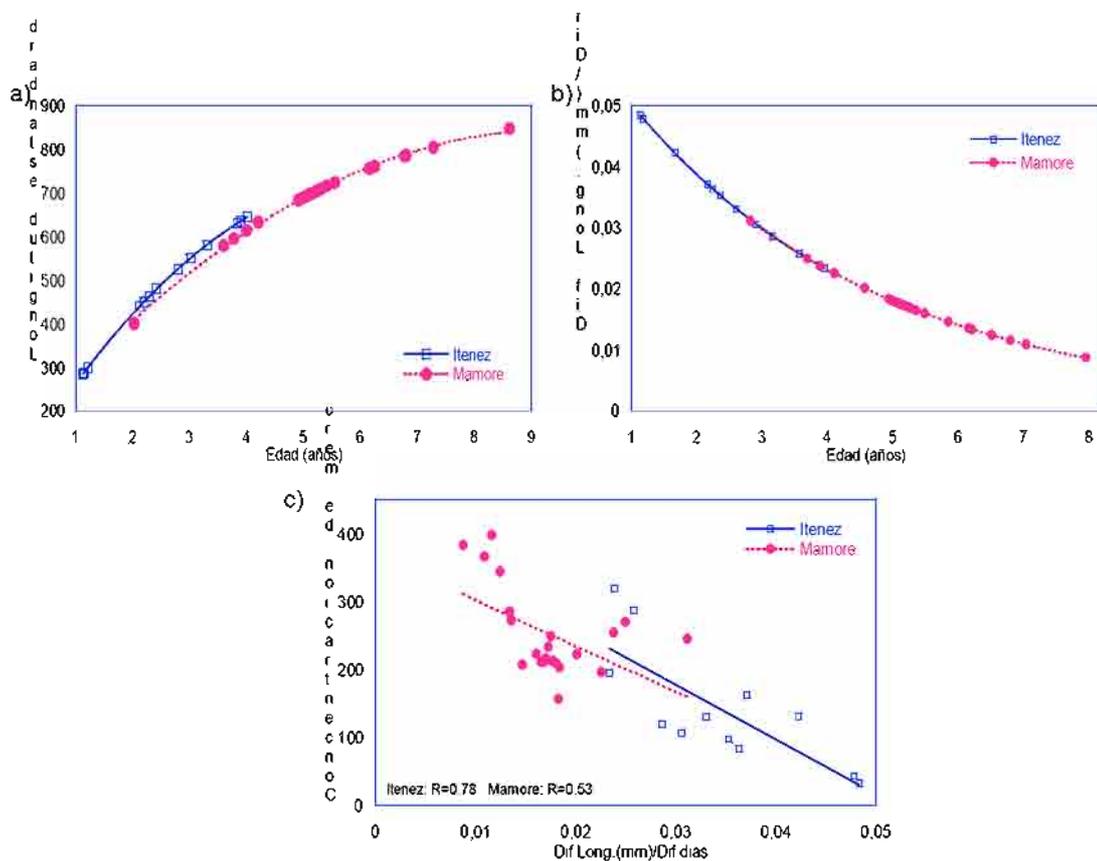


Figura 34. Crecimiento de *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez y Mamoré a) Relación entre la edad y la longitud estándar b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a octubre de 2002.

En la cuenca del Iténez, la acumulación de mercurio en *Pseudoplatystoma fasciatum*, no difiere en machos y hembras, pero para obtener un mejor resultado es necesario, contar con un mayor número de muestras en individuos machos y hembras. En la cuenca del Mamoré, los peces recolectados únicamente fueron hembras, por lo cual, no se puede hacer una diferenciación de la acumulación de mercurio entre sexos (Figuras 35a y 35b).

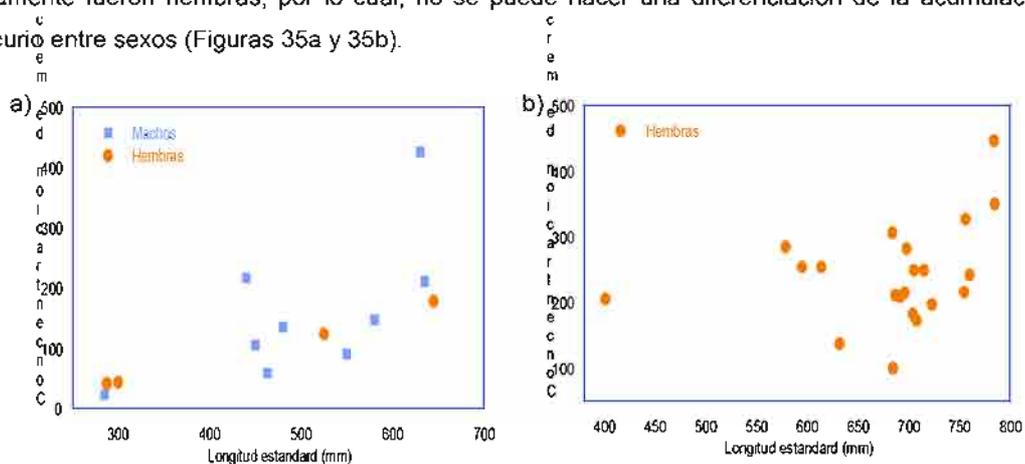


Figura 35. Relación de la concentración de mercurio y la longitud estándar en *Pseudoplatystoma fasciatum*. a) Cuenca del Iténez. b) Cuenca del Mamoré. Campañas: abril a octubre de 2002.

5.4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

5.4.2.1. Relación de la concentración de mercurio y la longitud

La relación entre los niveles de mercurio y el parámetro de longitud estándar de los peces, en *Pseudoplatystoma fasciatum*, muestra que es estadísticamente significativa ($R^2=40,34$ y $P<0.01$), a un nivel de confianza del 99% (Tabla 30).

Tabla 30. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la longitud estándar para *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Modelo	359900,0	2	179950	19,26	0,0000
Residual	485954,0	52	9345,27		
Total (Corr.)	845854,0	54			

$R^2 = 42,55 \%$

R^2 (ajustado por G.L.) = 40.34 %

Error estándar de la estimación = 96.67

Media absoluta del error = 73.00

Eliminando los parámetros del análisis de varianza que no son significativos estadísticamente, la ecuación del modelo que describe que la relación entre la concentración de mercurio y el largo del pez es Lineal, es la siguiente:

$$\text{Hg} = 217.53 + 0.56 \cdot \text{LSC} + 78.58 \cdot \text{Madre de Dios}$$

Donde:

LSC : Longitud centrada y reducida

Los intervalos de confianza al 95% para los coeficientes estimados del modelo y el error estándar se muestran detallados en la Tabla 31.

Tabla 31. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la Longitud estándar y la concentración de mercurio en *Pseudoplatystoma fasciatum*. Campaña: abril a diciembre de 2002

Parámetro	Estimación	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Iténez	217,53	16,14	185,14	249,91
LSC	0,56	0,11	0,34	0,77
Madre de Dios	78,58	27,54	23,31	133,86

La ecuación que expresará los modelos lineales para las tres cuencas, se define a continuación:

$$\text{Hg} = -138.18 + 0.57 \cdot \text{LS} + 102.55 \cdot \text{Mamoré} - 292.50 \cdot \text{Madre de Dios} - 0.16 \cdot \text{LS} \cdot \text{Mamoré} + 0.57 \cdot \text{LS} \cdot \text{Madre de Dios}$$

Donde:

LS = Longitud estándar

Las curvas de las regresiones lineales y las ecuaciones de los modelos, para las tres cuencas de estudio: Iténez, Mamoré y Madre de Dios en la especie *Pseudoplatystoma fasciatum*, se presentan en la Figura 36.

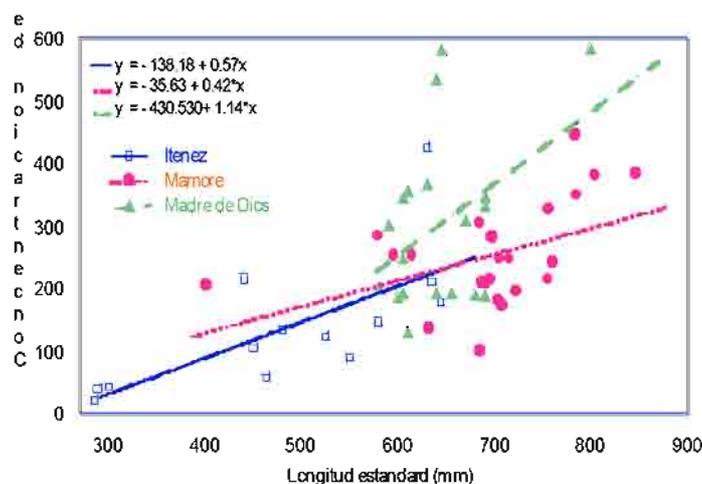


Figura 36. Modelo ajustado de la absorción de mercurio en relación a la longitud estándar para *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campañas: abril a diciembre de 2002.

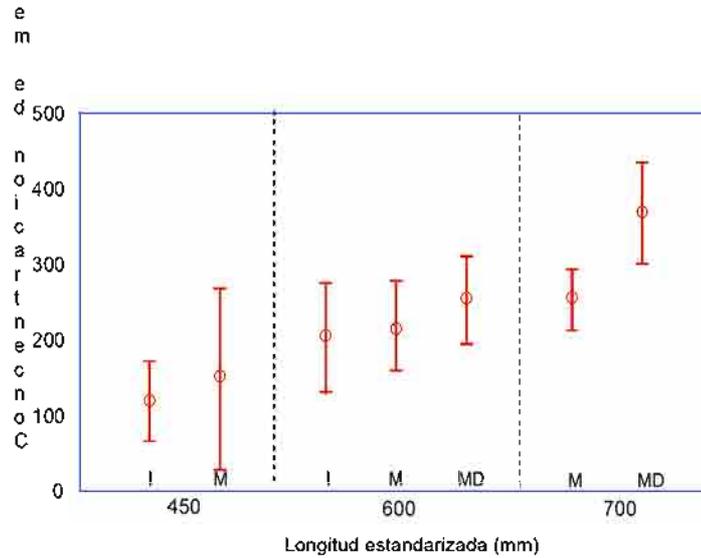
Las intercepciones y las pendientes de las regresiones lineales de la cuenca del Iténez, Mamoré y Madre de Dios en *Pseudoplatystoma fasciatum* (Tabla 32), no muestran diferencias estadísticas significativas, a un nivel de confianza igual o mayor al 90% ($P > 0.10$).

Tabla 32. Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios para el parámetro longitud estándar

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Longitud	283829,0	1	283829,0	29,88	0,0000
Interceptos	76226,6	2	38113,3	4,01	0,0243
Pendientes	20353,6	2	10176,8	1,07	0,3504
Modelo	380409,0	5			

En las cuencas del Iténez y Mamoré, para los 450 y 650 mm de longitud estándar de los peces, la comparación de las curvas de acuerdo al largo o longitud estandarizada, muestra que los niveles estimados de mercurio son iguales estadísticamente.

En la cuenca del Mamoré, a los 700 mm de longitud de los peces, los niveles de mercurio son menores y diferentes a los niveles de mercurio acumulados en la cuenca del Madre de Dios, donde los niveles son los más elevados (Figura 37 y Tabla 33).



Las líneas verticales representan el intervalo de confianza alrededor del nivel medio estimado (o). La sobreposición de las líneas verticales indica la igualdad estadística.

Figura 37. Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la longitud o largo estandarizada (450, 600 y 700 mm), en *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios Campaña: abril-diciembre de 2002.

Tabla 33. Comparación de la absorción de mercurio por la longitud estandarizada al 95 % de probabilidad en *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios Campañas: abril a diciembre de 2002.

Cuenca	Iténez		Mamoré		Madre de Dios	
	a	a	a	a	a	b
Longitud estándar (mm)	450		600		700	
Nivel estimado	119,96	152,01	206,01	214,56	255,04	256,26
Límite mínimo	63,82	32,70	131,21	154,70	195,57	215,38
Límite máximo	176,10	271,32	280,81	274,42	314,50	297,14

5.4.2.2. Relación de la concentración de mercurio y la edad

En *Pseudoplatystoma fasciatum*, el análisis de varianza de la regresión múltiple (Tabla 34), nos indica que la relación entre las variables: concentración de mercurio y edad de los peces, es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 99% ($R^2=52,40$ y $P<0.01$)

Tabla 34. Análisis de varianza del parámetro acumulación de mercurio en relación a la edad para *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril a diciembre de 2002.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Modelo	215133,0	1	215133	39,53	0,0000
Residual	185021,0	34	5441,79		
Total (Corr.)	400154,0	35			

$R^2 = 53.76 \%$

R^2 (ajustado por G.L.) = 52.40 %

Error estándar de la estimación = 73.77

Media absoluta del error = 56.11

Eliminando los parámetros que no son significativos estadísticamente, la ecuación expresa el siguiente modelo:

$$Hg = 212.671 + 42.8679 \cdot EC$$

Donde:

EC : Edad centrada y reducida

Esta ecuación describe que la relación entre las concentraciones de mercurio y la edad de los peces, sigue una regresión lineal, donde los límites de confianza estimados (95%) y el error estándar de los niveles estimados se describen en Tabla 35.

Tabla 35. Detalle del análisis de varianza del modelo e intervalos de confianza para los coeficientes estimados de la relación entre la edad y la concentración de mercurio en *Pseudoplatystoma fasciatum*. Campaña: abril a octubre de 2002.

Parámetro	Estimación	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
Iténez	212,67	12,29	187,69	237,66
EC	42,87	6,82	29,01	56,72

La ecuación del modelo de la regresión lineal es:

$$Hg = - 50.88 + 73.70 \cdot E + 121.00 \cdot \text{Mamoré} - 33.09 \cdot E \cdot \text{Mamoré}$$

Donde:

E = Edad de los peces

Las regresiones lineales en *Pseudoplatystoma fasciatum* para las cuencas del Iténez y Mamoré, como las ecuaciones de las relaciones de los niveles de mercurio por la edad de los peces, se muestran en la Figura 38.

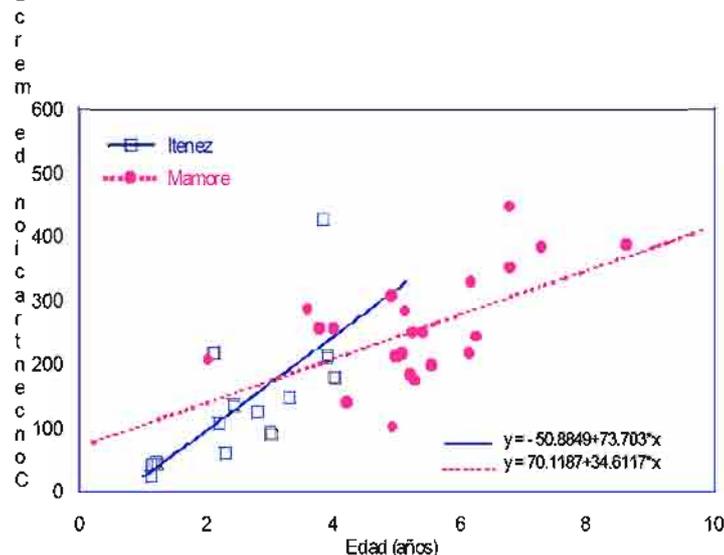
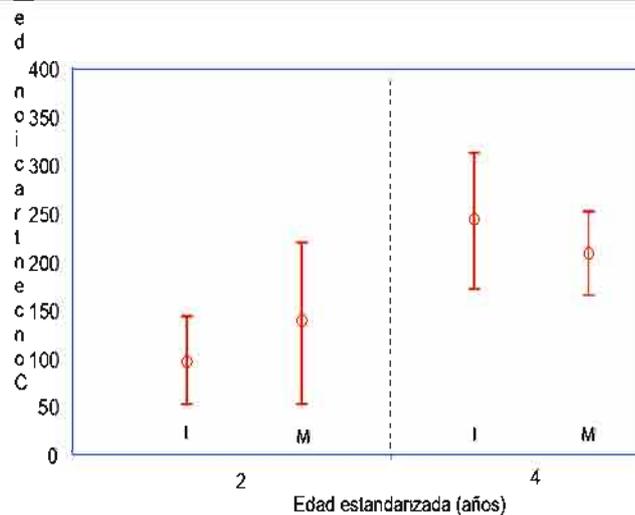


Figura 38. Modelo ajustado de la absorción de mercurio en relación a la edad para *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campañas: abril a diciembre de 2002.

En la Tabla 36, se observa que los valores de P para los interceptos y pendientes son mayores a 0.10 (0,85 y 0,14), por lo cual indicamos que no existe diferencia estadística significativa a un nivel de 90% de confianza, en *Pseudoplatystoma fasciatum*, para las cuencas del Iténez y Mamoré.

Tabla 36 Análisis de varianza para los interceptos y pendientes para *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez y Mamoré para el parámetro edad.

Fuente	SC	GL	CM	Radio-F	Valor P
Edad	217383,0	1	217383,0	40,87	0,0000
Interceptos	199,873	1	199,873	0,04	0,8475
Pendientes	12365,4	1	12365,4	2,32	0,1371
Modelo	229949,0	3			



Las líneas verticales representan el intervalo de confianza alrededor del nivel medio estimado (o). La sobreposición de las líneas verticales indica la igualdad estadística.

Figura 39 Intervalos de confianza (95%) del nivel medio de mercurio por la edad estandarizada (2 y 4 años), para *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. Campaña: abril-diciembre de 2002.

En las cuencas del Iténez y Mamoré, se observa que el análisis de la comparación de las regresiones lineales por la edad estandarizada, a los 2 y 4 años de edad (Figura 39 y Tabla 37), la especie *Pseudoplatystoma fasciatum*, acumula las mismas concentraciones de mercurio, no existiendo diferencia estadística.

Tabla 37. Comparación de la absorción de mercurio por la edad estandarizada al 95% de probabilidad en *Pseudoplatystoma fasciatum*, en las cuencas del Iténez y Mamoré. Campañas: abril a octubre de 2002.

Edad (años)	Iténez		Mamoré	
	a	a	a	a
	2		4	
Nivel estimado	96,52	139,34	243,93	208,57
Limite mínimo	48,93	56,18	171,36	164,86
Limite máximo	144,12	222,51	316,49	252,27

5.5. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN *Piaractus brachypomus* (Tambaqui)

5.5.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

5.5.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad

La especie *Piaractus brachypomus*, fue recolectada únicamente en la cuenca del Mamoré. Como observamos en las Figuras 40a, 40b y 40c, se colectó una sola muestra en adultos, las otras muestras corresponden a individuos jóvenes, por lo que no se ha definido una relación de la acumulación de mercurio, sin embargo, podemos indicar que los niveles de mercurio observados en los individuos de esta especie, son menores a los 35 ng/g en peso húmedo, y el adulto acumula una mayor concentración de mercurio que los jóvenes, de esta forma, parece haber una bioacumulación de mercurio de acuerdo a la longitud estándar, peso y edad.

Esta especie, se alimenta principalmente de vegetales terrestres como hojas, frutos, flores y tallos, además, se observó que adicionan a su dieta, bajos porcentajes de tallos y raíces de macrófitas, fauna béntica, como invertebrados acuáticos, e ictiofauna (escamas y trozos de peces). No se observó en los contenidos estomacales peces enteros, como en el caso de *Cichla monoculus*, *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Pygocentrus nattereri* (Figura 40a). La acumulación de mercurio, con esta alimentación, es baja, en relación a las otras especies en estudio, los niveles de mercurio en los peces muestreados, oscila entre 7 y 30 ng de Hg/g en peso húmedo para peces de 214 y 660 mm de longitud estándar (Figura 40a y Anexo 1).

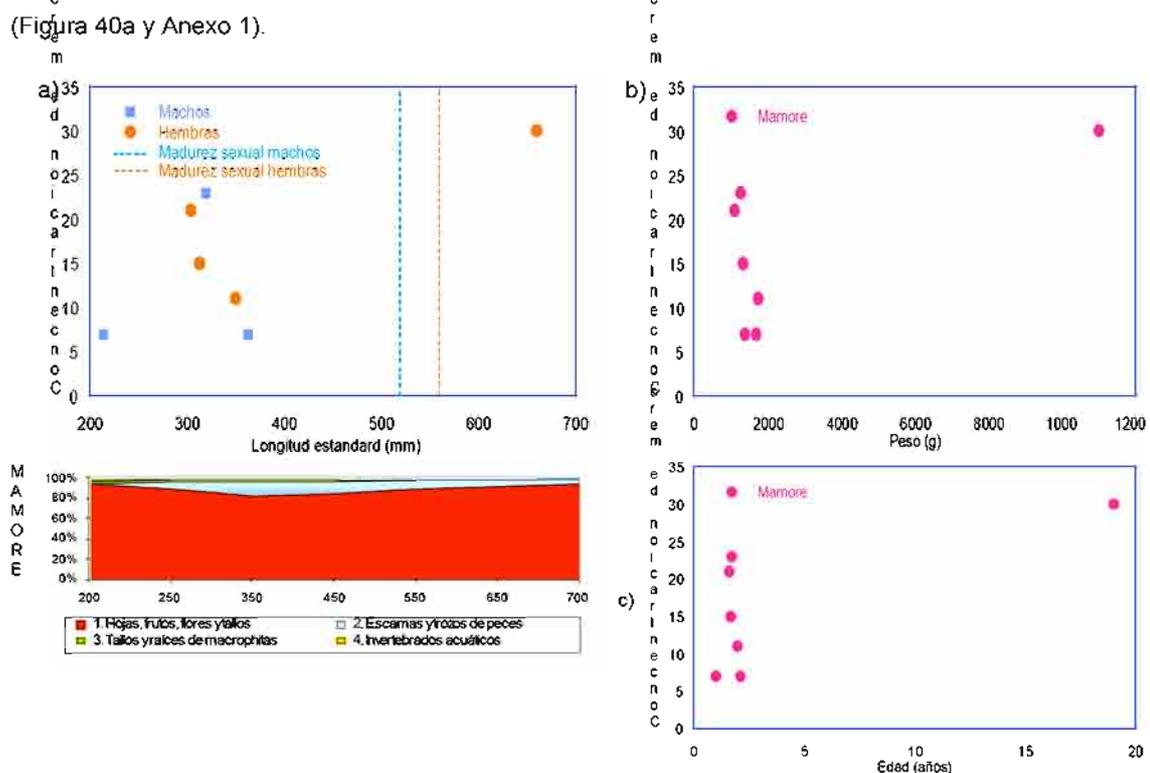


Figura 40. Concentración de mercurio en *Piaractus brachypomus*, para la cuenca del Mamoré a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar de acuerdo a la alimentación y sexo b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a diciembre de 2002

La madurez sexual a los 510 mm en los machos y a los 530 mm en las hembras (longitudes mínimas observadas por Loubens y Panfili, 2001), y la acumulación de mercurio de acuerdo al sexo, no se han definido, en esta especie, puesto que el número de individuos es muy reducido (Figura 40a)

5.5.1.2. Relación entre la bioacumulación de mercurio y el crecimiento

El crecimiento y la tasa de crecimiento en *Piaractus brachypomus*, para la cuenca del Mamoré es mucho mayor al principio de la curva y poco a poco, a medida que los peces se van desarrollando, el crecimiento y la tasa de crecimiento van disminuyendo (Figuras 41a y 41b),

La acumulación de mercurio parece ser menor a una tasa mayor de crecimiento, y en el adulto muestreado, donde se observa una tasa de crecimiento menor, la acumulación de mercurio es mayor (Figura 41c). No se graficó la curva, por el número bajo de muestras, y la dispersión de las mismas.

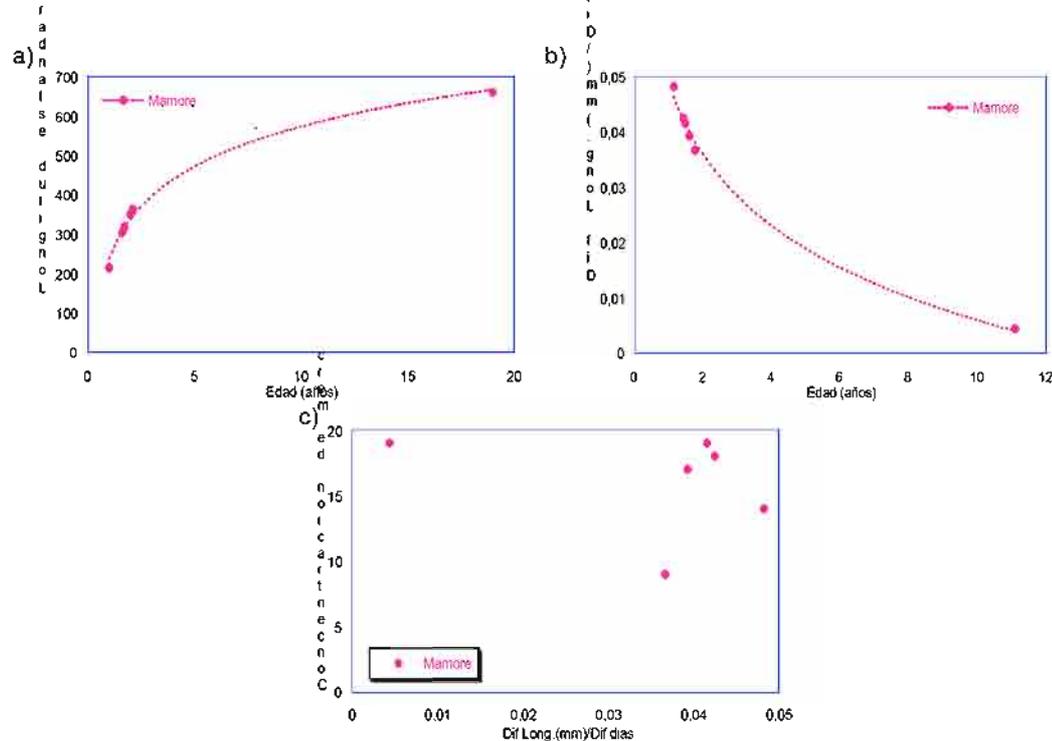


Figura 41. Crecimiento de *Piaractus brachypomus*, en la cuenca del Mamoré. a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento. c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a octubre de 2002.

5.6. BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN *Plagioscion squamosissimus* (Corvina)

5.6.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

5.6.1.1. Relación entre la bioacumulación de mercurio, el tamaño, el peso y la edad

En la especie *Plagioscion squamosissimus*, no parece haber una bioacumulación en los niveles de mercurio al incrementarse la longitud estándar, el peso y la edad de los peces (Figuras 42a, 42b,

42c). Al contrario de la acumulación en las otras especies, en las tres figuras mencionadas anteriormente, se observa una bioacumulación muy dispersa.

De acuerdo a Loubens (2003), los machos entran a la madurez sexual, a los 210 mm, y las hembras a los 240 mm, por lo cual, las muestras colectadas, corresponden únicamente a peces adultos. Por esta razón tampoco se pudo determinar la influencia de la madurez sexual en esta especie,

En la cuenca del Mamoré, en los peces analizados de *Plagioscion squamosissimus*, comprendidos entre los 300 a 450 mm de largo, se observó, que se alimentan exclusivamente de trozos y peces enteros (98.3%) y muy bajos porcentajes de fitoplancton (1.4%) y macrófitas (0.3%). El tipo de alimento no cambia en el rango del tamaño de peces recolectados, se basa exclusivamente en peces (Figura 42a).

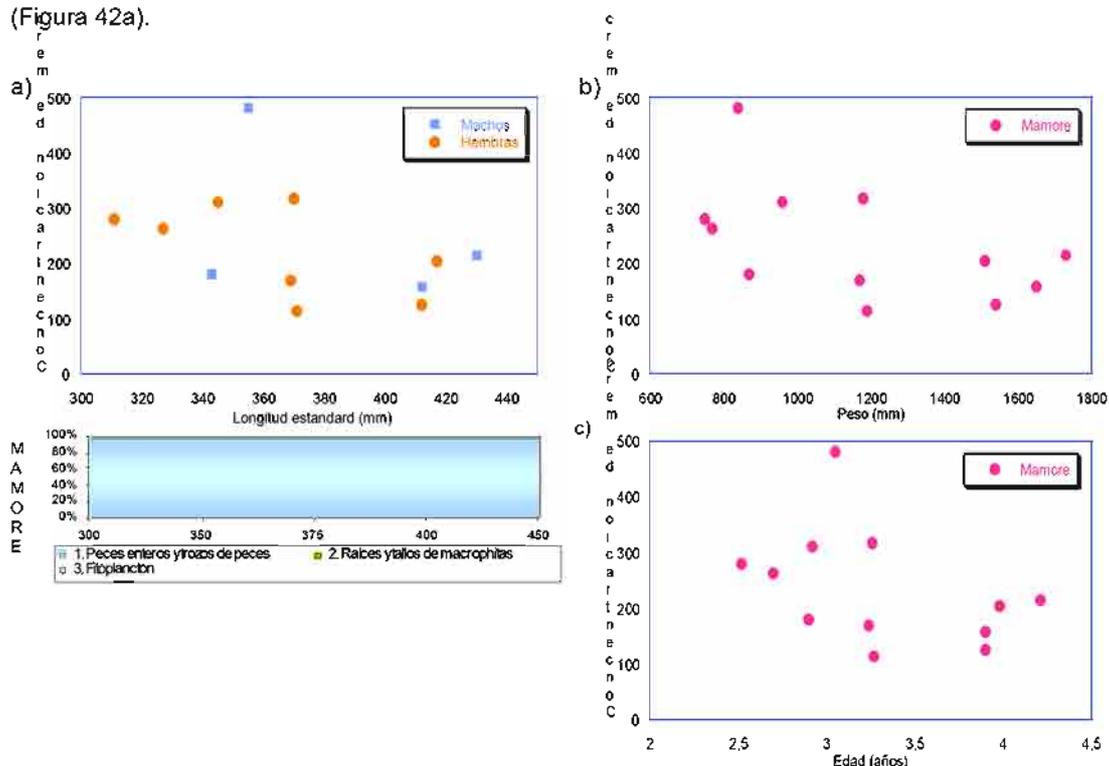


Figura 42. Concentración de mercurio en *Plagioscion squamosissimus*, para la cuenca del Mamoré. a) Relación entre el mercurio y la longitud estándar de acuerdo a la alimentación y sexo. b) Relación entre el mercurio y el peso. c) Relación entre el mercurio y la edad. Campañas: abril a octubre de 2002

La acumulación de mercurio respecto al sexo para *Plagioscion squamosissimus* en la Cuenca del Mamoré, muestra similitud entre hembras y machos, sin embargo, como se observa en la Figura 42a, se recolectó pocos individuos machos.

Por otra parte, se observa que los niveles de mercurio son altos en la especie, el menor nivel de mercurio es de 113 ng de Hg/g en peso húmedo, en un pez de 371 mm de largo, hasta el nivel más alto encontrado de 481 ng de Hg/g en peso húmedo, en un pez de 355 mm de largo.

5.6.1.2. Relación entre la bioacumulación de mercurio y el crecimiento

Las curvas del crecimiento en *Plagioscion squamosissimus* (Figuras 43a), muestra un incremento proporcional con el aumento de la edad. En la tasa de crecimiento (Figura 43b), se observa que a medida que aumenta la edad (entre 2.6 a 4.2 años de los peces), la tasa de crecimiento decrece. Las relaciones entre estas variables son lineales, de esta manera, el crecimiento en los individuos adultos de esta especie es proporcional o gradual. Al no contar con individuos jóvenes de esta especie, no podemos inferir el crecimiento en ellos.

La acumulación de mercurio respecto a la tasa de crecimiento es dispersa (Figura 43c), por lo cual no se define la forma de la bioacumulación, por otra parte el número de muestras es bajo, en esta especie.

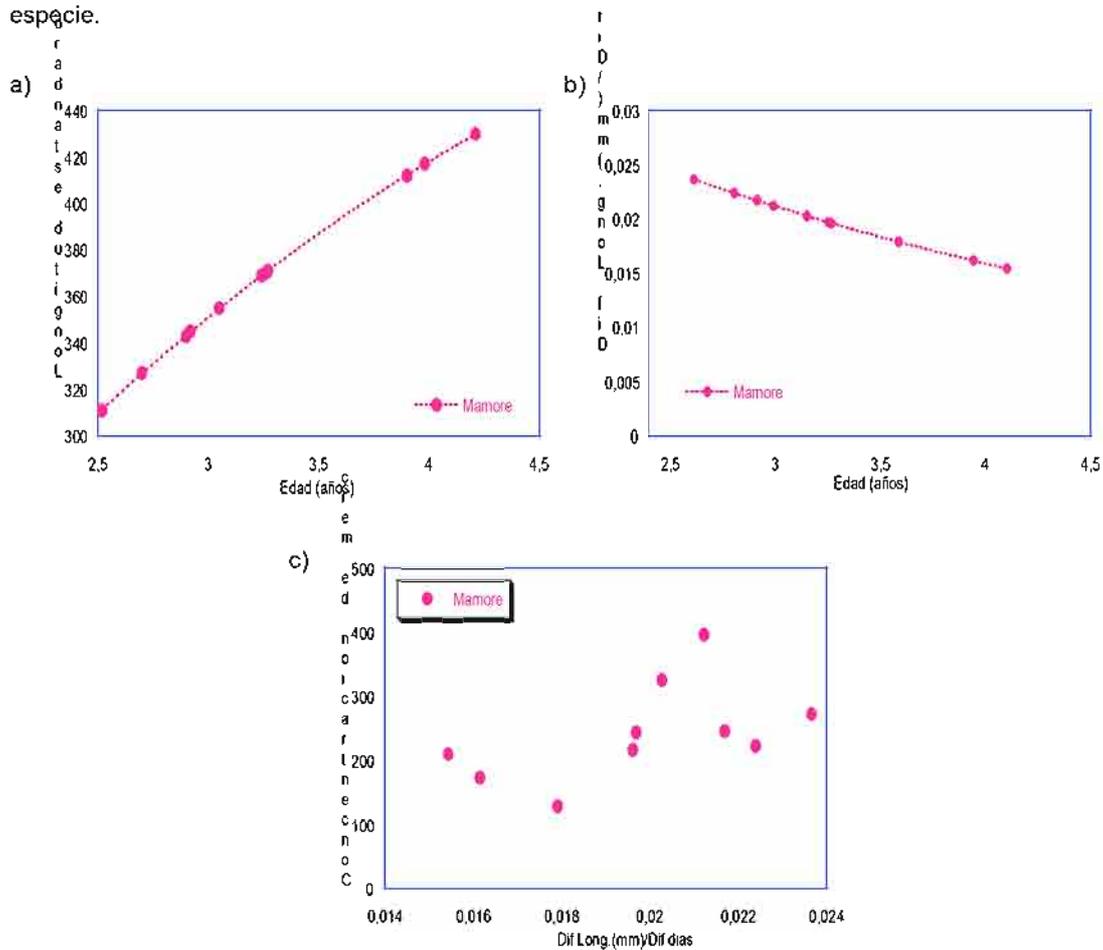


Figura 43. Crecimiento de *Piarectus brachypomus*, en la cuenca del Mamoré. a) Relación entre la edad y la longitud estándar. b) Relación entre la edad y la tasa de crecimiento. c) Relación entre la tasa de crecimiento y el mercurio. Campañas: abril a octubre de 2002

5.7. DETERMINACION DEL FACTOR DE BIOMAGNIFICACION (BMF)

5.7.1. BIOMAGNIFICACIÓN DE MERCURIO ENTRE LAS ESPECIES

Los factores de biomagnificación de mercurio, de *Cichla monoculus* respecto a *Colossoma macropomum*, son similares en las tres cuencas, presentando valores menores a 3: 2.5, 2.3 y 2.9 en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, respectivamente.

En la cuenca del Mamoré, el factor de biomagnificación en las especies de *Pygocentrus nattereri* (BMF=2.5) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (BMF=3.3), es próximo al factor de biomagnificación que presenta la especie *Cichla monoculus* (BMF=2.3). Ocurre lo contrario en la cuenca del Madre de Dios, donde los valores para este factor en ambas especies, son mayores, llegando a 6.6 en *Pygocentrus nattereri* y 7.3 en *Pseudoplatystoma fasciatum*.

En la cuenca del Iténez, si bien el factor de biomagnificación en *Pygocentrus nattereri* (BMF=3.4) es relativamente bajo, en *Pseudoplatystoma fasciatum* el factor de biomagnificación se incrementa a 8.6. La especie que muestra los mayores factores de biomagnificación en las tres cuencas, es *Pseudoplatystoma fasciatum*, presentando valores de 8.6 en la cuenca del Iténez, 3.3 en la cuenca del Mamoré, y 7.3 en la cuenca del Madre de Dios (Figura 44).

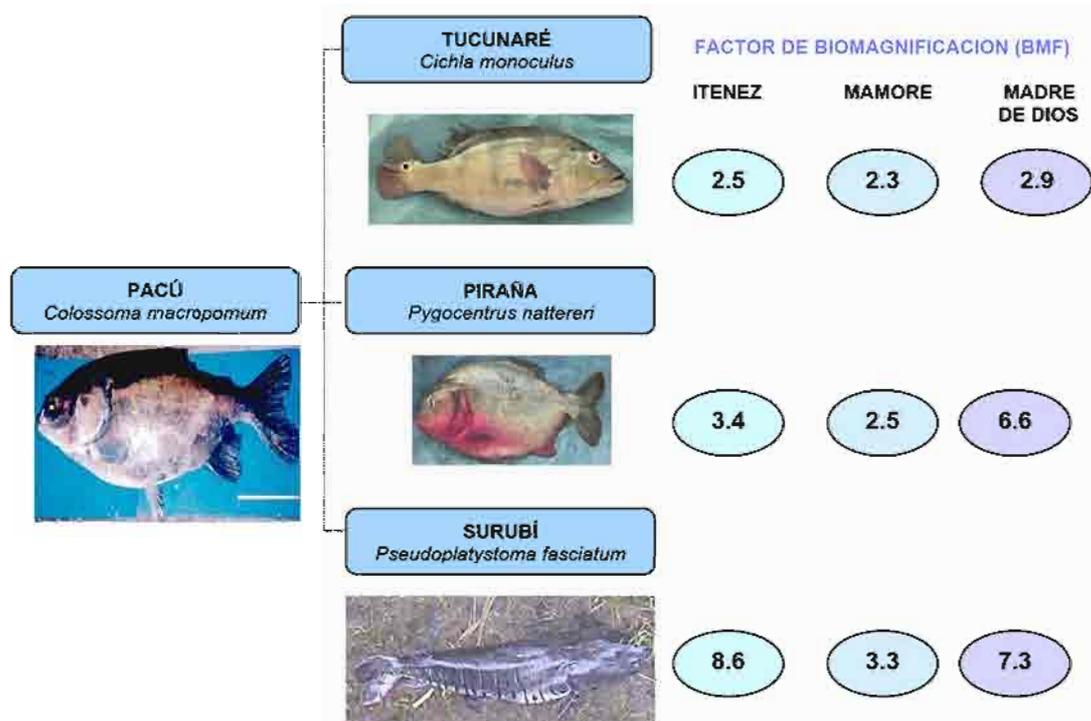


Figura 44. Factor de biomagnificación de mercurio (BMF) de las especies piscívoras: *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí) en relación a la especie no piscívora: *Colossoma macropomum* (Pacú), para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios Campaña: abril- diciembre de 2002

5.7.2. BIOMAGNIFICACIÓN ENTRE ESPECIES PISCÍVORAS Y NO PISCÍVORAS

El menor valor del factor de biomagnificación de mercurio entre piscívoros: *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubi) y no piscívoros: *Colossoma macropomum* (Pacú), se presenta en la cuenca del Mamoré (BMF=2.7), aunque con el nivel más alto de mercurio en las especies no piscívoras.

La cuenca del Iténez presenta un valor de biomagnificación, intermedio entre las cuencas del Madre de Dios y Mamoré (BMF=4.8), sin embargo muestra los menores niveles de mercurio en las especies no piscívoras y piscívoras.

El mayor valor de biomagnificación entre piscívoros y no piscívoros, se observa en la cuenca del Madre de Dios (BMF=5.6), por otra parte, en esta cuenca los Piscívoros, muestran también el mayor nivel de mercurio acumulado.

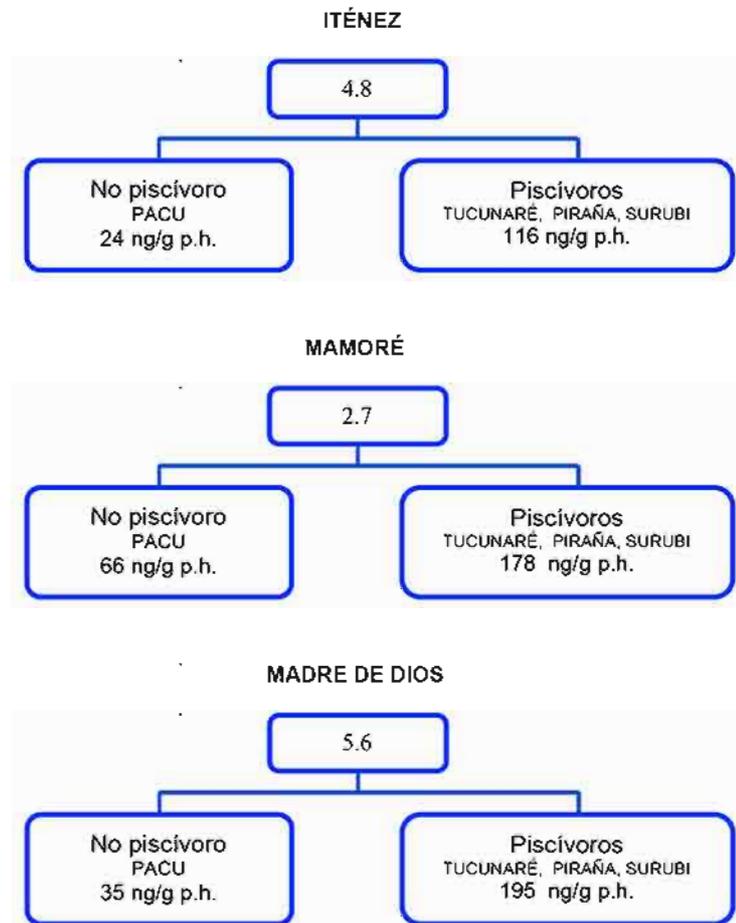


Figura 45 Factor de biomagnificación de mercurio (BMF) entre especies piscívoras y no piscívoras para las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios. En *Colossoma macropomum* y *Pseudoplatystoma fasciatum* los niveles de mercurio fueron estimados a los 600 mm de longitud estándar, en *Cichla monoculus* a los 300 mm y en *Pygocentrus nattereri* a los 200 mm. (Estas longitudes, son valores medios representativos de la población recolectada).

6. DISCUSIÓN

6.1. ACUMULACION DE MERCURIO POR LONGITUD ESTÁNDAR, PESO Y EDAD

Se observaron relaciones positivas entre el contenido de mercurio y la edad, consecuentemente longitud estándar y peso de los peces, en cinco de las seis especies analizadas, cuatro de ellas recolectadas en las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunará), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), y una especie recolectada únicamente, en la cuenca del Mamoré: *Piaractus brachypomus* (Tambaquí). En la especie *Plagioscion squamosissimus* (Corvina), cuyas muestras fueron recolectadas en la cuenca del Mamoré, no se observó una relación entre el contenido de mercurio por la longitud, el peso y la edad del pez, la acumulación de mercurio fue dispersa, esta observación, también a sido descrita en el río Tapajós en la Amazonía Central de Brasil por Roulet *et al.*, 1999.

Si bien, las relaciones positivas de la acumulación de mercurio, son resultados comunes y clásicos, obtenidos por muchas de las investigaciones (Huckabee *et al.*, 1979; Atwell *et al.*, 1998; Sampaio da Silva *et al.*, 2002), debido a que el mercurio tiene la capacidad y potencialidad para bioacumularse en los organismos (Cabana *et al.*, 1994), también, nuevos resultados han sido revelados en algunas especies de peces, donde no solamente se encuentran relaciones positivas, sino también, relaciones negativas, donde los niveles de mercurio disminuyen con el tamaño del pez, o no se encuentra una correlación entre estos niveles de mercurio y el tamaño del pez (Williams y Weiss, 1973; Wagemann y Muir 1984 citados por Atwell *et al.*, 1998; Sampaio da Silva *et al.*, 2002; Roulet y Maury Brachet, 2001d)

Las curvas de la relación entre la acumulación de mercurio versus longitud estándar y las curvas de la acumulación de mercurio versus peso, presentaron similitud, lo cual es explicable puesto que la longitud y el peso, son variables altamente correlacionadas. Ocurre lo contrario, en las curvas de la relación entre la acumulación de mercurio versus edad, cuyas variaciones podrían deberse a distintas tasas de crecimiento, influenciadas por un ecosistema diferente, por lo que se decidió realizar un análisis estadístico de las relaciones entre los niveles de mercurio y los parámetros: longitud estándar y edad.

Dentro de las seis especies, se ha visto que existen diferentes niveles de acumulación de mercurio, como varios investigadores indican, el nivel de mercurio respecto al tamaño del pez, aumenta con el nivel trófico (Riisgard y Hansen, 1990 y Jarman *et al.*, 1996, citados por Atwell *et al.*, 1998; Huckabee *et al.*, 1979 y Lacerda *et al.*, 1994, citados por Mol *et al.*, 1994; Cizdziel *et al.*, 2002).

En las tres cuencas donde se realizaron los muestreos, los niveles más bajos de mercurio se presentaron en las especies no piscívoras: *Piaractus brachypomus* y *Colossoma macropomum*. En *Piaractus brachypomus*, los contenidos de mercurio en muestras analizadas, cuya longitud estándar de los peces son de 214 y 660 mm, varían entre 7 y 30 ng de Hg/g en p.h. (peso húmedo); en *Colossoma macropomun*, muestras de 515 y 790 mm de longitud estándar, presentaron niveles de 5 y 124 ng de

Hg/g en tejido muscular húmedo. En especies piscívoras (incluyendo a la Piraña), los niveles de mercurio fueron más altos: en *Cichla monoculus*, para peces de 194 y 360 mm de longitud estándar, las concentraciones que se encontraron fue de 30 y 255 ng de Hg/g (p.h.), respectivamente; en *Pygocentrus nattereri*, a los 128 y 244 mm de largo: 12 y 342 ng de Hg/g (p.h.); en *Pseudoplatystoma fasciatum*, a los 285 y 645 mm de largo: 23 y 581 ng de Hg/g (p.h.) y en *Plagioscion squamosissimus*, a una longitud estándar de 371 y 355 mm mostraron 114 y 481 ng de Hg/g (p.h.). Este contenido elevado de mercurio en piscívoros, es característico en los ríos de la Amazonía (Roulet y Maury Brachet, 2001d), y como estos autores indican y son corroborados en éste estudio, es el resultado de la biomagnificación del metilmercurio en la cadena trófica.

6.2. ACUMULACION DE MERCURIO Y ALIMENTACIÓN

o *Colossoma macropomum*

Los resultados del análisis del contenido estomacal en *Colossoma macropomum*, en las cuencas del Iténez y Mamoré, cuyas muestras fueron recolectados en abril a mayo, indican que *Colossoma macropomum* es una especie omnívora, que se alimenta principalmente de vegetales (frutos, semillas, hojas y tallos), fauna béntica (moluscos, cangrejos e invertebrados acuáticos) y macrófitas (raíces y tallos). En la cuenca del Iténez y Mamoré, los jóvenes son omnívoros, en la cuenca del Iténez los adultos son frugívoros-herbívoros y en la cuenca del Mamoré, omnívoros con cierta tendencia a frugívoros-herbívoros.

Muchas investigaciones realizadas en diferentes regiones de la Amazonia, describen que esta especie depende de las frutas y semillas que representa el material encontrado en altos porcentajes en los análisis de los contenidos estomacales de *Colossoma macropomum* (Honda, 1974; Gottsberger, 1978; Smith, 1979; Goulding, 1980, Carvalho, 1981; Saint-Paul, 1986; y Ziburski 1990 citados por Silva *et al.*, 2000). En el trabajo de tesis, conducido por Sandoval, 1997 en la cuenca del Mamoré, encontró de la misma manera que la alimentación de *Colossoma macropomum* en época de aguas altas, está basada en alimentos de origen vegetal: *Ficus anthelmintica* (Bibosí), *Alibertia tutumilla* (Bibosito), *Pyrebiglyphis infesta* (Marayaú) y *Boetris gasipace* (Chonta) y alimentos de origen animal: *Profobranquius viviparus* (Caracol) y *Astacus astacus* (Cangrejo), describiendo a la especie como omnívoro. Algunos autores, corroborando lo encontrado en el presente estudio en la cuenca del Iténez, consideran que los adultos son estrictamente frugívoros (Eckmann, 1987; Saint Paul, 1991 citados por Silva *et al.*, 2000) y juveniles (menores a 50 cm) son omnívoros (Goulding, 1980). No existen registros, de que los adultos combinan los vegetales con macrófitas y fauna béntica, como lo detallado en la cuenca del Mamoré en este análisis.

El alimento consumido por el Pacú, en la cuenca del Mamoré, donde además de frutas, hojas y tallos, se encuentra la fauna béntica y las macrófitas, proporciona mayores niveles de mercurio que los acumulados en la cuenca del Iténez, se conoce por recientes investigaciones, que el perifiton de las

macrófitas flotantes, presentan un elevado potencial de metilación, estimulando una elevada biodisponibilidad de metilmercurio (Guimaraes *et al.*, 2000), así mismo, se ha observado que la fauna béntica tiene mayor concentración de mercurio que los frutos, hojas, tallos y flores, a ello se suma, que las áreas inundadas en las llanuras, son lugares de preferencia de esta especie, y el material de los bosques sumergido en las varzeas, en la época de lluvia, favorecen la metilación de mercurio (Roulet *et al.*, 2000b).

Por otro lado, los resultados nos muestran, que si bien, los jóvenes consumen alimentos que contienen normalmente mayor cantidad de mercurio que los vegetales terrestres (tallos, flores, frutos y semillas), por ejemplo moluscos en el Iténez, y tallos y raíces de macrófitas en el Mamoré, acumulan menores cantidades de mercurio, que los adultos, lo cual indica que la acumulación de mercurio no está influenciada únicamente por la alimentación, sino también por otros factores, como el crecimiento, resultando en una dilución del mercurio en la biomasa producida.

En la cuenca del Mamoré, se ha observado que en *Colossoma macropomum* y *Pygocentrus nattereri*, su alimentación es más variada que en la cuenca del Iténez, ello se debe a que ambas cuencas, son ecosistemas diferentes, se encuentran en distintas unidades fisiográficas: la cuenca del Mamoré esta ubicada en los llanos de inundación del río Mamoré, donde existe una casi horizontalidad del terreno, formándose una amplia planicie llena de meandros y lagos en media luna, e islas donde se desarrolla la ganadería y agricultura. El producto de los desbordes del este río, dan lugar a zonas de tierras húmedas y anegadas y amplias superficies de inundación (Montes de Oca, 1997).

La cuenca del Iténez, se encuentra en la unidad fisiográfica del Escudo brasileño, donde existe zonas con afloramientos de rocas muy antiguas (Montes de Oca, 1997), existiendo distinto tipo de vegetación, menores superficies de inundación, por lo tanto existirá menor cantidad de entradas de materiales alóctonos al medio acuático, y menor variedad de alimentos disponibles para los peces.

Según Roche *et al.* (1998), la llanura del Beni, es inundada durante cuatro meses y dependiendo del régimen hidrológico puede abarcar entre 100.000 a 150.000 km², por otra parte, últimas investigaciones realizadas por Hamilton *et al.* (2004), a través de imágenes satelitales, en los Llanos de Moxos, indican que el Mamoré (Norte y Sud), presenta una mayor área de inundación abarcando una superficie de 46.665 km² y el Iténez una menor superficie, con 20.043 km² (en la región de Baures de la Amazonía boliviana). Estas áreas, son convertidas en habitats acuáticos, que ofrecen un espacio más amplio para los peces, y nuevos habitats acuáticos llamados varzeas, que constituyen una entrada de los nutrientes alóctonos como: frutos, artrópodos terrestres (Goulding, 1980), materia orgánica del suelo proveniente de una descomposición rápida de pastos o material esparcido del bosque, conduciendo a un crecimiento explosivo de microorganismos, y macroinvertebrados acuáticos (insectos, crustáceos, moluscos) y de vegetación acuática, utilizados como alimento para los peces (Lowe-McConnell, 1987 citado por Zambrana, 1998), originando una fuente suplementaria de recursos, la época de inundación coincide con la fructificación de los árboles, los frutos y semillas caen al medio acuático, aumentando la

disponibilidad de alimento a partir de abril (Sandoval, 1997). *Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomus* que son especies de llanura, entran muy lejos con la subida de agua en el monte (Sandoval, 1997) los alimentos son variados y los peces no encuentran obstáculos para consumirlos, este es un periodo de alimentación intensiva, aumentando la disponibilidad de alimento a partir de abril, luego viene un largo ayuno sea total para los adultos, sea parcial para los juveniles (Loubens y Panfili, 1997).

Los resultados de los análisis del contenido estomacal, demuestran que la alimentación es un factor determinante en los niveles de mercurio acumulados en la ictiofauna. Como indica Hall *et al.* (1977), en un experimento en el que analizó el grado en el que los peces acumulan metilmercurio vía alimento, o tomado del agua a través de las agallas, comprobó que el mercurio tomado del agua fue casi el 15%, lo que confirma lo que ya es bien conocido, que el alimento es la forma dominante de bioacumular metilmercurio en peces (Zhou y Wrong, 2000, Harris y Bodaly, 1998).

- ***Cichla monoculus***

En ambas cuencas, *Cichla monoculus*, es una especie piscívora puesto que se alimenta de uno o varios pequeños peces (enteros), menores a los 70 mm de longitud, como Lowe-Mc Connell, 1979 describe, al igual que en este estudio, toman peces entre 20 a 80 mm. Este hábitat alimentario para esta especie, es descrita por varios autores (Ferreira *et al.*, 1998). En la cuenca del Iténez, adicionalmente a su alimentación basada en peces, incorpora fauna béntica (macroinvertebrados acuáticos), posiblemente por la disponibilidad de este alimento en su medio ambiente, sin embargo, ellos pueden ser muy selectivos consumiendo Cíclidos y Characiformes. Como se expresa en los resultados, podría ser que esta selectividad, le otorga a esta especie una fuerte correlación lineal entre los niveles de mercurio y el tamaño de los peces.

En *Cichla monoculus*, observamos que las acumulaciones de mercurio son elevadas, puesto que en ambas cuencas, esta especie se alimenta principalmente de peces, cuyas concentraciones de mercurio le otorgan mayores niveles de bioacumulación. Por otra parte, se observa que en la cuenca del Iténez, consumen además de peces, macroinvertebrados acuáticos, los cuales contienen menores niveles de mercurio que los peces, consecuentemente esta especie en la cuenca del Iténez, presenta menores niveles de mercurio respecto a la cuenca del Mamoré. No existe un cambio de alimentación, en los peces estudiados, a lo largo de la curva de la acumulación de mercurio, por lo que si bien existe una bioacumulación, ésta es proporcional.

- ***Pygocentrus nattereri***

Los jóvenes de *Pygocentrus nattereri*, en ambas cuencas, combinan su alimentación, consumiendo plantas terrestres (flores, frutos, hojas, tallos y semillas), macrófitas, mamíferos, insectos y crustáceos, además en la cuenca del Mamoré se encontró fauna béntica. En los jóvenes, no se incluye en su alimentación ictiofauna, pero a medida que se van desarrollando y entran a la madurez sexual

incorporan y van consumiendo mayores cantidades de peces, hasta llegar a ser completamente piscívoros cuando pasan a adultos. En la cuenca del río Mamoré, aún los adultos complementan su dieta con otros alimentos que consumían de jóvenes.

Esta especie, que por su alimentación es una especie carnívora, incorpora elevadas cantidades de macrófitas, crustáceos, macroinvertebrados acuáticos, que le otorgan elevados niveles de mercurio. Si bien el alimento en ambas cuencas es muy similar, en la cuenca del Mamoré esta especie acumula mayores niveles de mercurio, lo que indica que el alimento consumido contiene mayores niveles de mercurio, por otra parte, la cuenca del Mamoré presenta mayores superficies inundadas durante la época de aguas altas, alcanzando 46.665 km² en el Mamoré Norte y Sud y 20.043 km² en el Iténez (Hamilton *et al.*, 2004), aumentando de esta manera en la cuenca del Mamoré, la producción de macrófitas flotantes, donde existe un elevado potencial de metilación de mercurio y se estimula una producción elevada de metilmercurio biodisponible. Además, la zona radicular de estas plantas acuáticas flotantes, es poblada por una variedad de invertebrados y peces, que necesitan fuentes de carbono, incorporando de esta forma el metilmercurio dentro de la red alimenticia acuática tropical.

La producción de metilmercurio en las raíces de macrófitas es aproximadamente 30 veces mayor que en los sedimentos superficiales, donde la biodisponibilidad de metilmercurio es probablemente limitada al igual que en los sedimentos de los flujos o columna de agua (Guimaraes *et al.*, 2000). Por otra parte, las comunidades de peces que se alimentan de Bentos pueden dejar altas tasas de mercurio (Wong *et al.*, 1997), por lo tanto esta especie en la cuenca del Mamoré, donde se observa como alimento la fauna béntica, acumula mayores niveles de mercurio. Esta especie: *Pygocentrus nattereri*, que es considerada como un pez pequeño acumula niveles elevados de mercurio, lo que no coincide por lo señalado por Alanoca, 2001, quien indica que los niveles elevados de mercurio están gobernados por el mayor tamaño de los peces.

La acumulación de mercurio en ambas cuencas en *Pygocentrus nattereri*, es mayor que en los no piscívoros (*Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomus*), lo que es explicado por el tipo de alimento descrito anteriormente, además, aumentan en su dieta mayor volumen de peces, por lo tanto, los adultos acumularán mayores niveles de mercurio. Los jóvenes, en la cuenca del Iténez, consumen altos porcentajes de macrófitas, que se constituyen en importantes sitios de metilación, sin embargo habría que considerar el niveles de mercurio que es incorporado a través de su alimentación, estas concentraciones de mercurio podrían depender del tipo de agua, la biodisponibilidad del metilmercurio en el hidrosistema o del nivel trófico que la especie ocupa en la cadena alimentaria.

- ***Pseudoplatystoma fasciatum***

En la cuenca del Mamoré, en la especie: *Pseudoplatystoma fasciatum*, se observó que su alimentación es exclusivamente piscívora. Similares resultados, han sido observados en la cuenca del

Mamoré, donde se indica que a partir de los 400 mm de largo, esta especie es ictiófaga (Loubens y Panfili, 2000). No se pudo comprobar algún grado de omnivoría, como algunos autores lo describen, puesto que no se colectaron alevinos o peces más jóvenes a los analizados, y por otra parte, únicamente se obtuvieron resultados de la alimentación en época de aguas altas, desconociendo la alimentación en época seca. Esta especie, al ser de mayor tamaño dentro de la fauna íctica, sus presas son relativamente grandes (200 mm de longitud), en los estómagos de los peces, de ésta cuenca, se observó individuos de la especie *Pygocentrus nattereri* (Piraña), por ello, al consumir presas que se encuentran en niveles altos de depredación, por el proceso de bioacumulación la especie *Pseudoplatystoma fasciatum*; presenta mayores niveles de concentración de mercurio que las Pirañas. En la cuenca del Iténez, solamente se pudo analizar el contenido estomacal de un individuo, el que mostraba como alimento peces enteros.

En ambas cuencas las concentraciones de mercurio en *Pseudoplatystoma fasciatum* son elevadas, sin embargo en la cuenca del Iténez, se observa menor acumulación de mercurio en los jóvenes y mayor en adultos, respecto a la cuenca del Mamoré. La bioacumulación de mercurio tanto en la cuenca del Mamoré como del Iténez es gradual, probablemente debido a que no hay un cambio de alimentación en los peces analizados.

- ***Piaractus brachypomus***

La especie *Piaractus brachypomus*, cuyas muestras fueron recolectadas en mayo, en la Cuenca del Mamoré, de acuerdo a lo observado muestra ser una especie preferentemente herbívora-frugívora, aunque incorporan pequeñas cantidades de peces. En esta época se alimenta de vegetales, principalmente hojas y menores cantidades de frutos, semillas flores y tallos y consumen pequeñas proporciones de peces (se observó escamas, huesos, pedazos de peces). No se observó en las muestras analizadas, cambio de alimentación a lo largo de su crecimiento. Tampoco se observó un cambio en la curva de la acumulación de mercurio. Los niveles de acumulación de mercurio, son los más bajos, de todas las especies en estudio, incluso menores a *Colossoma macropomum* que son omnívoros, estos niveles bajos con explicados por el consumo principalmente de hojas y frutas, no se ha observado fauna béntica como en *Colossoma macropomum*, por lo que podría acumular menores concentraciones de mercurio. Esta especie está descrita como omnívora, por la alimentación de origen animal (fauna béntica), sin embargo no se encontró este alimento en los contenidos estomacales, posiblemente durante la época seca, podrían consumir este tipo de alimento.

- ***Plagioscion squamosissimus***

Al igual que *Piaractus brachypomus*, la especie *Plagioscion squamosissimus*, fue colectada solamente en la cuenca del Mamoré, los adultos de esta especie, comprendidos entre 300 y 440 mm de

longitud, se caracteriza por tener una alimentación ictiófaga, encontrándose en los contenidos estomacales: pedazos de peces, y uno o varios peces enteros pequeños de 20 a 70 mm de longitud como máximo. En muy baja proporción se encontraron raíces y tallos de macrófitas. Por otra parte, se debe considerar la fecha de muestreo (mayo a junio), no podemos saber, el alimento consumido por esta especie, en otra época. Es una especie oportunista.

El número de muestras colectadas en *Plagioscion squamosissimus* es bajo, sin embargo se puede observar que la acumulación de mercurio, es muy dispersa, por lo cual no se ha encontrado una correlación. Se observa lo contrario en las otras cinco especies estudiadas en esta investigación donde se han presentando correlaciones positivas. Este resultado es similar, a las relaciones registradas en otras investigaciones, por ejemplo, en lagos naturales del río Tapajós, así como en el río Tapajós de la Amazonía Brasileña, no se encontró una correlación entre el mercurio y el tamaño del pez (Roulet *et al.*, 1999; y Sampaio da Silva *et al.*, 2002), siendo que la investigación del anterior autor, consideró un alto número de muestras (Anexo 9e). Por el contrario, en los ríos de Surinam, se encontró que la acumulación de mercurio respecto al tamaño de los peces en *Plagioscion squamosissimus* presentaba una correlación positiva (Mol *et al.*, 2001). La alta dispersión de la relación entre la acumulación de mercurio y la longitud, peso y edad de los peces, podría deberse a los hábitos alimenticios de esta especie (piscívora, carnívora), que depende del medio ambiente donde se encuentre, es una especie oportunista. Por otro lado, la no correlación o correlación positiva, encontrada en los trabajos podría estar relacionada con un bajo número de muestras analizadas.

En las especies no piscívoras y piscívoras, se encontraron en los contenidos estomacales bajos porcentajes de fitoplancton, principalmente en las especies de la cuenca del río Mamoré, este grupo no es considerado como alimento de los peces, puesto que las especies piscívoras tomaron del agua, juntamente con el alimento, y en las especies piscívoras se observó que el fitoplancton estaba adherido a las escamas de sus presas, y adicionalmente, se encontró fitoplancton en los estómagos de sus presas, que estaban en proceso de digestión y degradación.

En dos especies, se observaron cambios en la alimentación a lo largo de su crecimiento: *Colossoma macropomum* (comprendidos en la cuenca del Iténez, en un rango de 400 a 900 mm, y en la cuenca del Mamoré entre los 250 a 750 mm de longitud estándar) y *Pygocentrus nattereri* (en la cuenca del Iténez de 120 a 240 mm, y en la cuenca del Mamoré entre 120 a 250 mm). Estos cambios de alimentación concuerdan con lo descrito por Neumann y Scott (1999), quienes señalan que existen cambios ontogénicos en la alimentación de algunas especies de peces. En las otras especies: *Cichla monoculus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Piaractus brachipomus* y *Plagioscion squamosissimus*, no existe un cambio en la alimentación en los peces analizados a lo largo de la vida del pez, sin embargo, probablemente, en los alevinos, e individuos jóvenes, podrían existir cambios en alguna de estas especies, en el estudio no se pudieron recolectar y obtener resultados en peces pequeños.

6.3. ACUMULACION DE MERCURIO Y CRECIMIENTO

En las especies: *Cichla monoculus*, *Pygocentrus nattereri* y hasta los siete años de edad en *Colossoma macropomum*, el crecimiento es mayor en la cuenca del Mamoré y menor en la cuenca del Iténez, lo cual coincide con los trabajos realizados por Álvarez (2002) en *Cichla monoculus*; Lino (2002) en *Pygocentrus nattereri* y Maldonado (2004) en *Colossoma macropomum*. El mayor crecimiento en la cuenca del Mamoré probablemente se debe a la mayor superficie de inundación que presenta esta cuenca, consecuentemente, se producirá una mayor entrada y disponibilidad de elementos alóctonos, para la ictiofauna. Ocurre lo contrario, en la especie: *Pseudoplatystoma fasciatum*, donde el crecimiento en la cuenca del Iténez es mayor que en la cuenca del Mamoré. En la cuenca del Madre de Dios, la especie en la que se pudo contar con los registros de edades: *Colossoma macropomum*, presenta similares curvas de crecimiento y tasa de crecimiento que en la cuenca del Mamoré.

En las seis especies en estudio: *Colossoma macropomum*, *Cichla monoculus*, *Pygocentrus nattereri*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Piaractus brachypomus* y *Plagioscion squamosissimus*, a medida que van creciendo disminuye la tasa de crecimiento, sin embargo en las especies no piscívoras: *Colossoma macropomum* y *Piaractus brachypomus*, la tasa de crecimiento en los jóvenes, es mucho mayor, que en los adultos, donde a partir de los 5 años de edad (600 mm de longitud estándar), la tasa de crecimiento disminuye abruptamente.

En la especie *Colossoma macropomum*, a una acelerada tasa de crecimiento, los individuos acumulan bajos niveles de mercurio (<47 ng de Hg/g en tejido muscular húmedo a los 600 mm de largo), ésta rápida tasa de crecimiento, sin un aumento en la dieta de mercurio, puede físicamente diluir el mercurio tomado a través del alimento (Boudou y Ribeyre 1995 citado por Atwell *et al.*, 1998; Hammer *et al.*, 1993, citado por Doyon *et al.*, 1998; Thoman, 1989 citado por Berglund *et al.*, 2001). A partir de los 5 años, los individuos de esta especie, acumulan concentraciones más elevadas, llegando a niveles de 121 ng de Hg/g en p.h. a los 900 mm de longitud estándar. Una menor producción de tejido muscular, produciría mayor acumulación de mercurio en los tejidos puesto que el consumo de alimentos se reparte en mayor cantidad de energía para su mantenimiento (Hammer *et al.*, 1973, citado por Doyon *et al.*, 1998) y restaría poca energía y proteínas para la dilución del mercurio en los nuevos tejidos formados.

En *Piaractus brachypomus*, la tasa de crecimiento es similar a la de *Colossoma macropomum*, donde existe un acelerado crecimiento en los jóvenes, sin embargo la acumulación de mercurio es gradual, no hay un aumento significativo de los niveles de mercurio en adultos, sin embargo, únicamente contamos con un adulto, para establecer un resultado más representativo, tendríamos que contar con un mayor número de muestras.

En las especies piscívoras: *Cichla monoculus*, *Pygocentrus nattereri*, *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Piaractus brachypomus*, si bien su crecimiento es relativamente mayor en jóvenes que en

adultos, la curva de la tasa de crecimiento disminuye gradualmente con la edad, este resultado es corroborado por Bagenal, *et al.* (1973) citado por Maldonado (2004), quien indica que en los adultos disminuye considerablemente la tasa de crecimiento, por lo tanto estos acumularían mayores concentraciones de mercurio. La tasa de crecimiento, muestra una influencia sobre los niveles de mercurio, en estas especies la bioacumulación de mercurio también es proporcional.

La especie *Plagioscion squamosissimus*, presenta una tasa de crecimiento lineal, respecto a la edad, muy distinta a la tasa de crecimiento curvilínea de las demás especies, sin embargo se debe considerar que el número de muestra es insuficiente para obtener un mejor resultado. La tasa de crecimiento en esta especie, disminuye lentamente, no existe un crecimiento acelerado en las primeras etapas como ocurre en las otras especies, por consiguiente, no se produce una dilución del mercurio en los tejidos de los peces jóvenes.

Las tasas de crecimiento en tres de las especies colectadas en las tres cuencas: *Colossoma macropomum*, *Cichla monoculus* y *Pygocentrus nattereri*, son muy similares entre ellas, aunque ligeramente mayores en *Colossoma macropomum*, sin embargo, la acumulación de mercurio respecto a la tasa de crecimiento es mucho mayor en la cuenca del Mamoré que en la cuenca del Iténez. Estos resultados coinciden con las conclusiones encontradas en especies de peces, en Lagos de la región de Chibougamau, al Este de Canadá, donde las tasas de crecimiento de las especies fueron similares, mientras que los niveles de mercurio presentaron diferencias significativas entre Lagos (Garceau *et al.*, 2004).

Por otra parte, la acumulación de mercurio en relación a la tasa de crecimiento, en todas las especies, excepto en *Plagioscion squamosissimus*, muestra una fuerte relación negativa, donde a medida que la tasa de crecimiento aumenta, la acumulación de mercurio disminuye, lo cual indica que la tasa de crecimiento influye y está correlacionada con la acumulación de mercurio. Como indica Meili (1991) y Cizdziel *et al.* (2002), la bioacumulación de metilmercurio es inversamente proporcional a la biomasa, es decir que a mayor producción de biomasa y mayor tasa de crecimiento, existiría una menor bioacumulación de mercurio en el organismo de los peces, estas grandes cantidades de biomasa producida, dan como resultado, una biodilución del mercurio.

Los resultados de las curvas de la tasa de crecimiento en las especies no piscívoras y piscívoras, establecen una influencia sobre la forma de la acumulación de mercurio, que puede ser proporcional, como en el caso de las especies piscívoras: *Cichla monoculus*, *Pygocentrus nattereri* y *Pseudoplatystoma fasciatum*, o puede ser abrupta a partir de la madurez sexual, como en el caso de las especies no piscívoras: *Colossoma macropomum* y *Pseudoplatystoma fasciatum*.

Por otro lado, los niveles de mercurio acumulados respecto a la tasa de crecimiento parece estar influenciados por los niveles de mercurio al que están expuestos en su dieta, y la biodisponibilidad del mercurio en los diferentes ecosistemas acuáticos y su incorporación en la cadena trófica.

6.4. ACUMULACION DE MERCURIO Y MADUREZ SEXUAL

De acuerdo a los resultados obtenidos, en la especie *Colossoma macropomum*, la madurez sexual tiene una influencia sobre la acumulación de mercurio, en esta especie se ha observado que existe un cambio en los niveles de acumulación de mercurio a partir de la madurez sexual en los individuos, acelerándose la bioacumulación a niveles mucho más altos, esto se debe a que como indica Silva *et al.*, 2000, la fuente de proteína proveniente del alimento consumido de origen animal (moluscos, cangrejos e invertebrados acuáticos), es muy importante para la maduración de las gónadas, al mismo tiempo esta proteína es empleada por el organismo para reparar, mantenerse, desarrollarse y reproducirse, por lo tanto a partir de la madurez sexual, la tasa de crecimiento baja bruscamente, puesto que mucha de la proteína utilizada para el proceso de desarrollo es gastada en el proceso de reproducción, consecuentemente el crecimiento se ve reducido, y al existir un menor crecimiento existe una menor dilución de mercurio en los tejidos y se produce una mayor acumulación de mercurio en los tejidos. Las frutas y semillas, contrariamente al alimento de origen animal, contiene bajos niveles de proteína, sin embargo otorgan elevados niveles de energía. En *Colossoma macropomum*, se establece un balance entre la proteína y energía a través del consumo de frutas y semillas (Silva *et al.*, 2000). En las otras cinco especies, la madurez sexual no tiene influencia sobre la bioacumulación de mercurio. Como los resultados muestran al pasar de jóvenes a adultos no existe un cambio en los niveles de bioacumulación de mercurio.

La madurez sexual en la especie *Colossoma macropomum*, parece tener poca influencia en las curvas de crecimiento y la tasa de crecimiento, donde se observa una disminución proporcional en las curvas de estas relaciones. Por otra parte, la relación entre la acumulación de mercurio y la tasa de crecimiento, se ve influenciada por la madurez sexual, presentándose una mayor acumulación de mercurio en los adultos, relacionado por una menor dilución de mercurio en los tejidos.

En *Colossoma macropomum*, en el Mamoré alcanza una talla de madurez sexual precoz, diferente al Iténez, donde tienen una mayor talla de madurez (Maldonado, 2004). Ocurre lo contrario en *Pygocentrus nattereri*, en el Iténez, maduran más rápido que en la cuenca del Mamoré (Lino, 2002), estas diferencias se ven influenciadas por las variaciones en medios ambientes heterogéneos. En las especies: *Cichla monoculus* y *Pseudoplatystoma fasciatum*, la madurez sexual fue determinada solamente en la cuenca del Iténez, y Mamoré, respectivamente. La madurez sexual para estas especies no parecen determinar la acumulación de mercurio, puesto que la curva de la acumulación de mercurio aumenta proporcionalmente al aumento de tamaño en los individuos colectados. En las especies: *Pygocentrus nattereri* y *Plagioscion squamosissimus*, no se colectaron individuos jóvenes, por

lo cual en estas especies, no se pudieron determinar las diferencias de la acumulación de mercurio entre jóvenes y adultos. De la misma forma, en *Piaractus brachypomus*, se colectó un solo individuo adulto.

Se han realizado muy pocos trabajos sobre la biología reproductiva de la fauna íctica en nuestro medio, si bien existen datos sobre la madurez sexual evaluados en otros países, estos datos no pueden ser tomados como datos referenciales en las cuencas en estudio, puesto que las variaciones son muy grandes entre ecosistemas, así mismo, existen muy pocos trabajos sobre la influencia de la madurez sexual en la bioacumulación de mercurio, y aún menos, sobre la influencia del sexo.

6.5. ACUMULACION DE MERCURIO EN HEMBRAS Y MACHOS

En todas las especies la acumulación de mercurio en machos y hembras, presenta mucha similitud, sin embargo, el número de muestras para hembras y/o machos es bajo para realizar buenas correlaciones y apreciaciones, tanto en jóvenes como en adultos, en *Cichla* por ejemplo, se colectaron solamente dos hembras en la cuenca del Mamoré, y en *Pseudoplatystoma*, todos los ejemplares colectados resultaron ser hembras, lo cual no permite realizar un estudio comparativo entre hembras y machos. Por otra parte, se han visto algunas diferencias entre jóvenes y adultos, en *Pygocentrus* por ejemplo, las hembras jóvenes de la cuenca del Iténez acumulan más mercurio que los machos jóvenes, pero en adultos la acumulación en hembras y machos no puede ser observada por que solamente se colectó un macho, lo mismo ocurre en *Pseudoplatystoma*, las hembras jóvenes acumulan mayor concentración de mercurio que los machos jóvenes machos y en adultos ocurre lo contrario, aunque el número de hembras colectado, es bajo en esta especie. La diferencia entre la acumulación de mercurio entre jóvenes y adultos, está relacionado a el gasto de proteína y energía, que se produce al entrar a la madurez sexual influyendo en el crecimiento y la acumulación de mercurio en machos y hembras.

Los individuos machos y hembras al entrar a la madurez sexual se preparan para producir gónadas a lo largo de su vida, de acuerdo a estudios realizados por Doyon *et al*, 1998, contienen menores cantidades de mercurio (0.11 a 0.17 ng de Hg/g en p.h.), respecto a tejidos musculares (0,28 a 0.42 ng de Hg/g en p.h.), el restante mercurio será acumulado en la carne, por otro lado, las especies, tienen diferentes estrategias reproductivas (Winemiller y Rose, citado por Maldonado, 2004), y diferentes estrategias de vida entre machos y hembras a partir de la madurez sexual, en *Colossoma macropomum* por ejemplo, después del desove, las hembras entran a las áreas de inundación, mientras los machos se quedan en éstas áreas de desove a orillas de los ríos (Loubens y Panfili, 1997), por lo tanto existirá un diferente gasto de energía y acumulación de mercurio.

6.6. MODELOS DE ACUMULACION DE MERCURIO

El análisis de varianza de los datos (detallados en resultados), expresó correlaciones significativas estadísticamente entre la concentración de mercurio y los parámetros de longitud estándar y edad de los peces ($P < 0.01$), a un nivel de confianza del 99%, para las cuatro especies recolectadas en

las tres cuencas de estudio: *Colossoma macropomum*, *Cichla monoculus*, *Pygocentrus nattereri* y *Pseudoplatystoma fasciatum*.

En las especies: *Cichla monoculus* y *Pseudoplatystoma fasciatum*, las curvas de las correlaciones entre el nivel de mercurio por la longitud estándar y la edad, presentan modelos lineales. Este modelo lineal encontrado en *Cichla monoculus*, corrobora la correlación lineal encontrada por Roulet *et al.* (1999) en la región de Brasília Legal y Cametá, en el río Tapajós de la Amazonía brasilera (Anexos 9a y 9b). En *Pseudoplatystoma fasciatum*, los mismos autores encontraron correlaciones lineales, distintas a las correlaciones de este estudio, donde se muestran niveles de mercurio mayores en los jóvenes y niveles menores en adultos, sin embargo, se observa pocas muestras de individuos adultos, para determinar la correlación con una mayor precisión.

En las especies: *Colossoma macropomum* y *Pygocentrus nattereri*, las correlaciones entre la concentración de mercurio y la longitud estándar, presentaron modelos curvilíneos, lo que indica que estas especies, acumulan mayor cantidad de mercurio a partir de la disminución de la tasa de crecimiento y primera madurez sexual, por lo tanto, los modelos curvilíneos expresaran una mayor diferencia en los extremos de las curvas, es decir una bioacumulación mayor en individuos adultos, principalmente en *Colossoma macropomum*.

Como se detalla, todas las especies mostraron fuertes y estrechas correlaciones entre la acumulación de mercurio y la longitud estándar y la edad del pez, esta relación se acentúa mucho más en *Cichla monoculus*, puesto que el coeficiente de correlación para ambas relaciones (longitud estándar y edad), es mayor a 90. En *Pygocentrus nattereri* y en *Colossoma macropomum* (para el parámetro edad), cuyos datos fueron transformados por la raíz cuadrada y el logaritmo en base 10, respectivamente, dieron modelos lineales, sin embargo, la transformación de los datos a su inversa, mostraron modelos curvilíneos, lo cual significa que de la misma forma que ocurre en el parámetro longitud en *Colossoma macropomum*, existirá una mayor diferencia de acumulación de mercurio, en los extremos de las curvas.

En estudios llevados a cabo en la Amazonía brasilera por Roulet *et al.* (1999): en la región de Brasília Legal y Cametá, en el río Tapajós, uno de los principales afluentes del río Amazonas, en las especies de *Cichla ocellaris* (*Cichla monoculus*) y *Serrasalmus nattereri* (*Pygocentrus nattereri*), se encontraron, correlaciones lineales entre la acumulación de mercurio y la longitud estándar de los peces, estos resultados, no coinciden con los modelos encontrados en este trabajo, donde al transformar los datos se encontraron correlaciones curvilíneas en estas dos especies. Por otra parte, estas especies, presentan fuertes correlaciones entre los niveles de mercurio y la longitud estándar, en *Cichla monoculus* presenta un coeficiente de correlación de 0.80 y en *Pygocentrus nattereri* 0.85, para ambas localidades: Brasília Legal y Cametá (Anexos 9a y 9b).

Los niveles de mercurio acumulados en *Cichla monoculus*, son mayores en la Amazonía brasileña. De acuerdo al modelo, en la localidad de Brasilea Legal a los 380 mm de longitud estándar, la concentración de mercurio llega a 830 ng de Hg/g en p.h., aproximadamente 4 veces más que el nivel medio estimado de mercurio en la cuenca del Mamoré, a esta misma longitud (199 ng de Hg/g en p.h.). Lo mismo ocurre en *Pygocentrus nattereri*, donde a los 240 mm de longitud acumula 1121 ng de Hg/g en p.h., más de cuatro veces la acumulación de la cuenca del Mamoré (248 ng de Hg/g en p.h.), que es el sistema de la Amazonía boliviana, que registró la mayor acumulación en Piraña.

En *Pseudoplatystoma fasciatum*, se observa dos comportamientos diferentes de acumulación de mercurio a lo largo del ciclo de vida de esta especie, la primera desde los 25 a los 40 cm, donde se observa una mayor acumulación de mercurio y la segunda desde los 42 hasta los 65 cm de longitud estándar, con un menor nivel de mercurio. En este estudio no se colectaron peces pequeños, por lo que no se podría comparar con los niveles de mercurio presentes en peces pequeños de la Amazonía brasileña. Los de mayor tamaño muestran menores concentraciones de mercurio que en las cuencas de la Amazonía boliviana, aunque el número de muestras colectadas en el río Tapajós, es pequeño (Anexo 9c).

La dinámica de la acumulación de mercurio en *Cichla*, *Pygocentrus* y *Pseudoplatystoma* en la Amazonía brasileña (Anexos 9a, 9b y 9d), es totalmente diferente a lo encontrado en el presente estudio, las especies *Cichla monoculus* y *Pygocentrus nattereri*, en el río Tapajós muestra niveles muy altos en relación a *Pseudoplatystoma fasciatum*, que es una especie de mayor tamaño que las otras, por lo cual se esperaría una mayor concentración de mercurio, sin embargo no ocurre esto, posiblemente estos resultados se deben al alimento consumido en estos ambientes, a la exposición a diferentes niveles de mercurio en su dieta, y como se ha mencionado anteriormente, a todas las características del medio ambiente en el que habitan estas especies. En estudios realizados por Roulet *et al.* (1999), en el río Tapajós en la región de la Amazonía brasileña, donde se han realizado modelos para especies peces de esta región, no se evaluó a la especie *Colossoma macropomum*, para poder ser comparadas con los modelos de las acumulaciones de mercurio obtenidos en el presente estudio.

Se ha comprobado, que la regresión lineal o polinomial con variables indicadoras, utilizado a partir del año 1993 para monitorear los niveles de mercurio en peces, es un método sencillo, menos restrictivo por cuanto no requiere de una igualdad de pendientes, ni homogeneidad de varianzas que algunas veces no se logra (homocedasticidad), y aunque se transformen los datos es un método bastante fuerte y sigue comparaciones estadísticas rigurosas (Tremblay *et al.*, 1998), sin embargo tiene algunas limitaciones y dificultades que se han encontrado en el siguiente trabajo y se analizan a continuación:

La regresión lineal con variables indicadoras, ha resultado ser un método apropiado, solo en aquellas especies donde se presenta una normalidad de datos, como en las especies de *Cichla monoculus* y *Pseudoplatystoma fasciatum*, donde la ecuación del análisis de regresión múltiple, ya

describe el modelo. En cambio, en aquellas especies en que los datos originales fueron transformados para cumplir la normalidad, como en el caso de *Pygocentrus nattereri* y *Colossoma macropomum* (para el parámetro edad), que mostraban un modelo lineal, la transformación de datos (inversa de raíz cuadrada y logaritmo en base 10), dio como resultado funciones curvilíneas. Por lo tanto, si bien la ecuación del análisis de regresión múltiple indica un modelo lineal, la transformación de datos muestra lo contrario, por lo que la ecuación del modelo, que determina el tipo de correlación (lineal o curvilínea), únicamente funciona en datos sin transformar, para aquellos datos que no cumplen con la normalidad, los modelos serán diferentes a lo indicado por la ecuación.

Por otra parte, el análisis de regresión polinomial con variables indicadoras, efectuado en *Colossoma macropomum* (para el parámetro de longitud estándar), no expresa un apropiado resultado de la forma (niveles de mercurio acumulados a lo largo de la curva) y posición (niveles de mercurio acumulados espacialmente) de las curvas de correlación, puesto que estas diferencias entre las cuencas, no parece observarse en la gráfica. Por ejemplo, en la gráfica se observa una mayor concentración de mercurio en la cuenca del Mamoré, contrariamente al resultado expresado por la comparación de curvas a través del análisis de regresión múltiple, donde se muestra a través de la asignación de letras, que la cuenca del Mamoré presenta los menores niveles de mercurio. Estos resultados estadísticos no apropiados, para la forma y posición de las curvas de correlación, probablemente se deban a la comparación de un número reducido de sitios de estudio, donde la cuenca del Iténez, es el parámetro de referencia del análisis de regresión múltiple.

Finalmente podemos indicar que a partir de los modelos de acumulación de mercurio encontrados en este trabajo, se podrá estimar los niveles de mercurio que acumulan estas especies, a diferentes longitudes y a diferentes edades, y a partir de ello, se podrán realizar comparaciones temporales o espaciales.

6.7. INTERCEPTOS Y PENDIENTES

En la especie *Colossoma macropomum*, los interceptos y pendientes de las curvas de la correlación entre las concentraciones de mercurio y la edad, muestran diferencias estadísticas, entre las tres cuencas, lo cual indica, que a medida que van creciendo van acumulando distintas concentraciones de mercurio.

Los interceptos y pendientes de las correlaciones entre los niveles de acumulación de mercurio por la longitud estándar y edad en *Cichla monoculus*, son distintos entre las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, estas diferencias se pueden deber a una alimentación y nivel trófico diferente, o a una distinta biodisponibilidad de mercurio en los tres ecosistemas. Aunque en la cuenca del Mamoré, la especie presenta mayor crecimiento y mayor tasa de crecimiento que le permitiría una mayor dilución de mercurio en los tejidos, parece ser que el alimento consumido, le otorga mayores niveles de mercurio.

En la especie *Pygocentrus nattereri*, las correlaciones entre los niveles de mercurio y la longitud y edad de los peces, muestran interceptos diferentes y pendientes estadísticamente similares, indican que si bien inicialmente acumulan distintos niveles de mercurio, el alimento consumido proporciona cantidades similares de mercurio a lo largo del crecimiento, en las tres cuencas de estudio.

En la especie *Pseudoplatystoma fasciatum*, los interceptos y pendientes de las curvas de acumulación de mercurio por la longitud estándar y edad, presentan similitud en las cuencas, lo que parece estar influenciado por un similar crecimiento y tasa de crecimiento. La igualdad en la forma en que acumulan el mercurio, podría ser una característica propia de la especie.

6.8. LONGITUD Y EDAD ESTANDARIZADA

El análisis estadístico, de acuerdo a diferentes longitudes estandarizadas, nos muestra que en las especies: *Colossoma macropomum*, *Cichla monoculus* y *Pygocentrus nattereri*, los niveles de mercurio en la cuenca del Mamoré, difieren estadísticamente y con pocas excepciones son mayores a los de la cuenca del Iténez. En la especie *Pseudoplatystoma fasciatum*, los niveles de mercurio son similares entre las cuencas del Iténez y Mamoré.

En la Amazonía boliviana, podemos comparar con investigaciones realizadas en la cuenca del río Beni, por Quiroga (1997); Maurice-Bourgoin *et al.* (2001) y Alanoca (2001). El estudio realizado por Quiroga, 1997, en las cuencas del río Chairó y Huarinilla, en la zona subtropical de los yungas, y cuyas aguas están fuertemente influenciadas por la cantidad de sedimentos provenientes de actividades mineras y la construcción de la carretera, los valores de mercurio encontrados en peces de la familia Characidae y Trichomycteridae (122 ± 120 y 109 ± 57 ng/g en p.h.), son elevados considerando que son especies muy pequeñas, y se encuentran en bajos niveles tróficos dentro de la cadena alimenticia, sin embargo, probablemente, esta acumulación se deba a las características de la tasa de crecimiento de estas especies.

Los resultados de la tesis realizada por Alanoca, 2001, en los principales ríos de la cuenca del río Beni, desde las cabeceras andinas hasta Rurrenabaque en 30 especies, muestran que las especies que se alimentan de carne, como *Pseudoplatystoma fasciatum* y *Pygocentrus nattereri*, sobrepasan los límites recomendados por la OMS de 0,5 µg/g (500 ng de Hg/g). En *Pseudoplatystoma fasciatum*, individuos entre los 590 a 1140 mm de longitud, muestran niveles entre 220 a 580 ng de Hg/g en p.h. Comparando con los resultados obtenidos en las cuencas del Iténez y Mamoré, de acuerdo a los modelos estimados en este estudio, los niveles de mercurio para estas mismas longitudes son un poco más bajos: entre 198 a 512 ng de Hg/g en peso húmedo, en el Iténez, y 212 a 443 ng de Hg/g en p.h. en el Mamoré. En la cuenca del Madre de Dios, contrariamente a las otras dos cuencas que mostraron valores menores a la cuenca del Beni, presenta valores mucho más altos que en la cuenca del río Beni: 242 a 869 ng de Hg/g en p.h. En *Pygocentrus nattereri*, dos muestras de 280 mm de longitud, acumularon 1230 y 1210 ng de Hg/g en p.h..

Si bien, Maurice-Bourgoin, 2001b, indica que el 72% de los peces piscívoros y carnívoros colectados en el río Beni (aguas abajo de Rurrenabaque) están contaminados por mercurio, señalando a las especies *Pygocentrus nattereri* y *Pseudoplatystoma fasciatum* como las más contaminadas, se debe tomar en cuenta que las muestras tomadas en *Pygocentrus nattereri* de 280 mm de longitud, son las más grandes en esta especie, al igual que las muestras de 1140 mm de longitud estándar en *Pseudoplatystoma fasciatum*. Por tanto no se podría indicar que estas especies son las más contaminadas en la cuenca del río Beni, habría que determinar los niveles de mercurio en individuos de menor tamaño, y analizar un mayor número de muestras de la población.

Las especies no piscívoras: *Colossoma macropomum* (a los 580 mm acumuló 150 ng de Hg/g en p.h.) y *Piaractus brachypomus* (a los 770 mm acumuló 150 ng de Hg/g en p.h.), presentando al igual que los piscívoros, niveles elevados de mercurio, en comparación a los niveles acumulados en las cuencas estudiadas, donde a los 580 mm *Colossoma macropomum* acumula 43 ng de Hg/g en p.h., siendo la mayor concentración y en *Piaractus brachypomus* a los 7700 mm acumula 32 ng de Hg/g en p.h., ambos valores en la cuenca del Mamoré. Maurice Bourgoin, 2001, atribuye, a las pendientes elevadas de la región subtropical, lo que origina grandes cantidades de sedimentos en el río Beni, habiendo una deposición de sedimentos en el sector de Rurrenabaque, lo que ocasiona niveles altos de mercurio, sin embargo habría que determinar el potencial de metilación y la biodisponibilidad del metilmercurio, en esta cuenca, que será lo que determinará la bioacumulación en los peces.

La diferencia entre los niveles acumulados en los peces, en la cuenca del río Beni, y las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, probablemente se deben a que son distintos ecosistemas, como indica Watras *et al.* (1998), citado por Cizdziel *et al.* (2002), la acumulación y los niveles de mercurio en los peces, están influenciado por diversos factores, por tanto la alimentación, la disponibilidad de alimentos, las características físicas y químicas del agua, la productividad y la entrada y disponibilidad de mercurio en el medio, son distintos en estas cuencas.

La comparación de los niveles de mercurio respecto a las edades estandarizadas, difieren de las comparaciones estadísticas de los niveles de acumulación respecto a la longitud estandariza, lo cual se debe a un crecimiento diferente de las especies en las tres distintas cuencas, como se observó en el análisis sobre el crecimiento y la tasa de crecimiento. Las especies: *Cichla monoculus* y *Colossoma macropomum* (hasta los siete años de edad) y *Pygocentrus nattereri* (que si bien es carnívora, tienen un mayor crecimiento en la cuenca del Mamoré.

Por el contrario, la especie: *Pseudoplatystoma fasciatum*, se desarrolla más rápido en la cuenca del Iténez. Así por ejemplo, un individuo que tiene seis años de edad y mide 700 mm de longitud estándar en la cuenca del Iténez, en la cuenca del Mamoré ese individuo de seis años, medirá 620 mm puesto que se desarrolla más lentamente, por lo tanto los niveles de mercurio y las curvas de acumulación serán diferentes entre los parámetros de longitud estándar y edad.

En *Colossoma macropomum*, si bien a los cuatro años de edad existen diferencias estadísticas significativas de los niveles acumulados de mercurio al 95% de probabilidad, en las cuencas del Mamoré e Iténez, a los 12 años de edad, no muestran niveles diferenciados, ocurre lo contrario en *Cichla monoculus*, al año de vida, los niveles de acumulación de mercurio son similares en ambas cuencas, y a los 2 y 3 años hay una mayor acumulación de mercurio en la cuenca del Mamoré. En Piraña hay una mayor acumulación de mercurio en el Mamoré a los 2, 4 y 5.5 años de edad. En *Pseudoplatystoma fasciatum*, a los 2 y 4 años de edad la acumulación de mercurio es similar en ambas cuencas. En la cuenca del Madre de Dios, únicamente se obtuvieron datos de las edades, en la especie *Colossoma macropomum*, los resultados de la comparación de la acumulación de mercurio, muestran que no existen diferencias en los individuos de 4 años, con los de la cuenca del Mamoré y a los 8 y 12 años, los niveles son menores a los niveles de la cuenca del Mamoré.

Si bien la longitud estándar, es un parámetro que fácilmente puede ser medido en campo y es una de las variables más utilizadas en estudios para conocer el comportamiento del mercurio en la ictiofauna, lo cual nos permite realizar comparaciones, el parámetro edad, aunque requiere de materiales y mayor tiempo para ser evaluado, puede determinar las relaciones de mercurio, con mucha más precisión, respecto a la acumulación y el desarrollo de los peces, dejando a un lado el crecimiento en tamaño o biomasa, producto de las condiciones favorables del medio ambiente, por lo que la edad, debería ser un parámetro tomado para efectuar una buena investigación. Para el consumidor la longitud de los peces, es un parámetro de fácil estimación, por cuanto, la longitud puede ser utilizada para dar recomendaciones en cuanto al consumo de peces contaminados por mercurio.

La comparación del intervalo de confianza de los niveles estimados de mercurio por la longitud estandarizada y la edad estandarizada, que siguieron comparaciones estadísticas rigurosas, dieron muy buenos resultados, es así que se obtuvieron estimaciones precisas de los niveles de mercurio, consecuentemente, los valores del Factor de Biomagnificación a partir de estos niveles encontrados será precisa. Por otra parte, a efectos de comparaciones espaciales, se podrían establecer estándares de longitudes y edades por especie ha ser analizados en los trabajos, para que estos resultados sean una herramienta que facilite la utilización a otros investigadores.

6.9. BIOMAGNIFICACION DE MERCURIO (BMF)

En las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, el menor Factor de Biomagnificación respecto a la especie omnívora (*Colossoma macropomum*), se presenta en *Cichla monoculus* especie piscívora, seguida de *Pygocentrus nattereri*, especie carnívora y finalmente *Pseudoplatystoma fasciatum*, especie piscívora. Los resultados nos muestran que los valores del Factor de Biomagnificación en estas especies, está dado por el nivel trófico, lo cual corrobora lo establecido en varios trabajos (Brugeman, 1982, citado por Castilhos y Bidone, 2000).

Los Factores de Biomagnificación entre la especie piscívora *Cichla monoculus* y la especie *Colossoma macropomum* son similares: 2.5 en el Iténez, 2.3 en el Mamoré y 2.9 en el Madre de Dios.

En las cuencas del Mamoré y Madre de Dios el Factor de Biomagnificación que presenta *Pygocentrus nattereri*, es próximo al de *Pseudoplatystoma fasciatum*, con 2.5 y 3.3 en el Mamoré y 6.6 y 7.3 en el Madre de Dios, para las dos especies mencionadas anteriormente. En la cuenca del Iténez en cambio el Factor de Biomagnificación en *Pseudoplatystoma fasciatum* es mucho más alto que en *Pygocentrus nattereri*, con valores de 8.6 y 3.4 para ambas especies. Esta amplia diferencia entre los niveles de mercurio acumulados en la cuenca del Iténez, podría deberse a los distintos alimentos que consumen, a los diferentes niveles de mercurio que otorgan los alimentos consumidos en hidrosistemas diferentes, o a las diferentes distancias entre los niveles tróficos entre estas especies. Por otro lado, la mayoría de las especies pueden ser encontradas en diferentes categorías y niveles tróficos al mismo tiempo (Destefanis *et al.*, 1972, citado por Zambrana, 1998), por otra parte, la red trófica en la Amazonía es muy compleja, va unida a los cambios ambientales y variaciones estacionales que impone adaptaciones y contaminaciones de mercurio específicas, y difiere mucho dentro de la ictiofauna (Mergler *et al.*, 2002).

En un trabajo de tesis, realizado por Zambrana (1998), donde se identificó el nivel trófico de especies ícticas en las llanuras inundables del río Ichilo afluente del río Mamoré, se clasificó a *Pygocentrus nattereri* que es una especie carnívora, como un consumidor terciario, y a *Pseudoplatystoma fasciatum*, especie piscívora como consumidor terminal. Estos niveles tróficos probablemente son los mismos a los encontrados en este trabajo, por el Factor de Biomagnificación que presentan estas especies, puesto que la bioacumulación está directamente relacionada con la posición o nivel que ocupan las especies, dentro de la red trófica.

El mayor Factor de Biomagnificación entre piscívoros y no piscívoros, se observa en la Cuenca del Madre de Dios: 5.6, mostrando niveles de 35 y 195 ng de Hg/g en p.h. en piscívoros y no piscívoros respectivamente, seguido de la cuenca del Iténez: 4.8. El menor Factor de Biomagnificación se muestra en la cuenca del Mamoré: 2.7, sin embargo muestra los niveles más altos de mercurio entre piscívoros y no piscívoros: 66 y 178 ng de Hg/g en p.h.. Estos resultados están estrechamente relacionados con la posición que ocupan en la estructura trófica, en cada cuenca, como Hylander *et al.* (2000), menciona, las elevadas concentraciones de mercurio, van acompañadas por altos grados de depredación.

El mayor tamaño en los peces que según algunos autores determina una mayor acumulación de mercurio, no ha sido determinante en este estudio, puesto que si bien, *Pseudoplatystoma fasciatum* ha mostrado el mayor Factor de Biomagnificación de mercurio en las tres cuencas, *Colossoma macropomum*, que también es una especie de gran tamaño, ha mostrado los menores niveles de mercurio. Podríamos concluir indicando que el grado de depredación dentro de la cadena trófica es el factor determinante en la bioacumulación del mercurio.

Los valores del Factor de Biomagnificación encontrados en las tres cuencas, nos muestran que existe un mayor enriquecimiento de mercurio en la estructura trófica de las cuencas del Madre de Dios y del Iténez que en la del Mamoré, lo que parece ser que el alimento consumido, en los mayores niveles tróficos, tienen mayores niveles de mercurio, por otra parte, los ecosistemas son ambientes muy

diferenciados. En la cuenca Amazónica boliviana, que se extiende en la Cordillera Oriental de los Andes, en la llanura adyacente y el Escudo Brasileiro, las aguas corren, por zonas de relieve, litología, clima y vegetación muy variadas que les confieren características muy diversas (Fernández y Roche, 1987), por tanto, las tres cuencas de estudio presentan distintas características. Estos tres sistemas espacialmente alejados y diferentes, parecen determinar la contaminación de mercurio en peces.

La cuenca del Mamoré, que es un tributario andino del río Madera, está caracterizada por llevar en su cauce aguas "blancas", con cierta tendencia a amarillo, turbias y barrosas, con altos contenidos de sedimentos, su transparencia es baja, debido a la entrada de barro a consecuencia de la erosión de los márgenes del río, pero en el periodo de decrecimiento de las aguas, el volumen es bajo y no sucede la erosión, el ph es alto, las concentraciones de alcalinidad y dureza, son altas, como se observa en la Tabla 2, los mayores contenidos iónicos, exportación hídrica, salinidad y caudal, se presentan en esta cuenca.

Al pie de los Andes, el Mamoré desemboca en una extensa planicie antes de ser frenado en su flujo de agua por contrafuertes y elevaciones del Escudo Brasileño en la zona de Guayaramerín, este freno de la salida de agua, forma una zona de grandes inundaciones en época de aguas altas (Itakura y Jiménez, 1996), presentando mayores áreas de producción de macrófitas, estos vegetales acuáticos, se constituyen en lugares propicios para la producción de metilmercurio y una mayor biodisponibilidad de mercurio, por otra parte, las áreas inundadas representan una entrada importante de materiales alóctonos, cuya descomposición de la materia orgánica favorece la metilación, produciendo una mayor exposición de mercurio en la cadena trófica. El río Sécuré, presenta las mismas características que el Mamoré, ambas son cuencas altas que se encuentran situadas en la zona andina de mayor pluviosidad (Loubens *et al.*, 1992).

La cuenca del Iténez que recorre la región Precámbrica, transporta menos sedimentos que los ríos que se originan en la Cordillera Oriental, por lo tanto son cristalinos, pero llegan a tener un contenido elevado de materia orgánica, y menores cantidades de hierro y otros iones que en el Mamoré y en el Madre de Dios. Como lo muestra el resultado de Hylander *et al.* (2004), la cuenca del Iténez presenta menores superficies de inundación en relación a las cuencas del Mamoré, reduciéndose de esta manera áreas importantes de metilación.

La cuenca del Madre de Dios (cuenca del Manuripi), cuyas nacientes provienen de las alturas o tierra firme, dando origen a ríos de aguas "negras" (Chernoff y Willink, 1999 citados por Navarro y Maldonado, 2002), de color pardo debido a la descomposición de la materia orgánica vegetal de las planicies, con altos contenidos de materia orgánica y ácidos húmicos (Yunoki y Tórriz, 2003), ph bajo y agua ácida, la concentración de alcalinidad y dureza son bajos y las aguas son poco mineralizadas (Itakura y Jiménez, 1996), sin embargo presenta un mayor nivel de hierro y potasio en función a las otras cuencas, y presenta menores áreas de inundación, por lo tanto la disponibilidad de mercurio podría ser menor a la del Mamoré.

7. CONCLUSIONES

- Los modelos de las relaciones entre la concentración de mercurio por la longitud estándar, el peso y la edad, en las especies: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Piaractus brachypomus* (Tambaquí), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), muestran correlaciones positivas.
- En la especie: *Plagioscion squamosissimus* (Corvina), no existe correlación entre la concentración de mercurio por la longitud, el peso y la edad, corroborando lo encontrado por Roulet *et al.* (1999) en el río Tapajós ubicado en la Amazonía Central de Brasil. Por lo que esta especie probablemente presenta un importante mecanismo de biodilución de mercurio, mediante el cual no se produce una bioacumulación de este metal en su organismo.
- Los análisis estadísticos, indica que en las especies: *Cichla monoculus* (Tucunaré) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), las correlaciones son lineales entre los niveles de mercurio por la longitud estandarizada y la edad. En *Colossoma macropomum* (Pacú) y *Pygocentrus nattereri* (Piraña), las correlaciones entre la acumulación de mercurio y la longitud estándar y la edad, son curvilíneas.
- En la cuenca del Mamoré, los niveles de mercurio acumulados respecto a la longitud estandarizada en *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré) y *Pygocentrus nattereri* (Piraña), son mayores y diferentes estadísticamente a los niveles presentes en la Cuenca del Iténez. Los niveles de mercurio en la cuenca del Madre de Dios, son intermedios o iguales a las otras cuencas, aunque en *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), son mayores en los adultos (700 mm de longitud estándar).
- La acumulación de mercurio de acuerdo a la edad estandarizada, sigue un comportamiento diferente a la acumulación de mercurio según la longitud estandarizada. Los individuos de 4 a 8 años en *Colossoma macropomum*, de 2 y 3 años en *Cichla monoculus* y los individuos de *Pygocentrus nattereri*, acumulan una mayor concentración de mercurio en la cuenca del Mamoré. En *Pseudoplatystoma fasciatum* los niveles de mercurio son similares en las cuencas del Iténez y Mamoré.
- El tipo de alimentación de las especies, es determinante en la absorción de los niveles de mercurio. La especie herbívora *Piaractus brachypomus* (Tambaquí) y la omnívora *Colossoma macropomum* (Pacú), acumularon los menores niveles de mercurio. Las especies piscívoras y carnívoras: *Cichla monoculus*, *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Plagioscion squamosissimus* y *Pygocentrus nattereri*, acumularon los mayores niveles de mercurio.

- En las especies: *Colossoma macropomum* (Pacú) y *Pygocentrus nattereri* (Piraña), la alimentación en la cuenca del Mamoré, ha sido más variada que en la cuenca del Iténez, ello, se puede deber, a las mayores superficies de inundación que presenta la cuenca del Mamoré, consecuentemente en estas áreas ingresarán una mayor cantidad y variedad de material alóctono.
- La acumulación de los niveles de mercurio en: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), está negativamente relacionada con la tasa de crecimiento, lo cual se atribuye a la dilución del mercurio en los tejidos.
- La tasa de crecimiento en *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña), *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí) y *Piaractus brachipomus* (Tambaquí), es mayor en las primeras etapas de crecimiento y decrece a medida que se van desarrollando. Ésta característica determina la forma de acumulación del mercurio en las especies.
- El tamaño de las especies de los peces, no está relacionado con los niveles de acumulación de mercurio, como algunos autores mencionan. Los niveles de mercurio que las especies acumulan, están gobernados por la posición trófica que ocupan las especies en la cadena alimentaria, y que está estrechamente relacionada por el poder de bioacumulación y biomagnificación del mercurio.
- La madurez sexual en las especies estudiadas, no influye directamente en la acumulación de los niveles de mercurio, sin embargo, en los individuos que llegan a la madurez sexual, se reduce el crecimiento, consecuentemente al disminuir el crecimiento y la tasa de crecimiento, la acumulación de mercurio aumenta.
- La bioacumulación de mercurio por sexo en las especies: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré) y *Pygocentrus nattereri* (Piraña) parece ser muy similar, sin embargo el número de hembras y machos recolectados por especie es insuficiente, para mostrar mejores resultados de la acumulación de mercurio por sexo.
- En las cuencas del Iténez, Mamoré y Madre de Dios, los niveles de acumulación de mercurio siguieron la siguiente relación: *Colossoma macropomum* < *Cichla monoculus* < *Pygocentrus nattereri* < *Pseudoplatystoma fasciatum*, presentándose Factores de Biomagnificación similares en la especie: *Cichla monoculus* y distintos en las especies: *Pygocentrus nattereri* y *Pseudoplatystoma fasciatum*.

- El Factor de Biomagnificación entre piscívoros y no piscívoros, es mayor en la cuenca del Madre de Dios (BMF=5.6), posteriormente en la cuenca del Iténez (BMF=4.8), y el menor Factor de Biomagnificación, se presenta en la cuenca del Mamoré (BMF=2.7).
- En la cuenca del Mamoré, las especies: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y los individuos menores de 3.5 años de *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), han presentado los mayores niveles de mercurio, lo cual puede deberse a la mayor cantidad de sedimentos y sólidos en suspensión que llevan las aguas “blancas” y a las amplias superficies de inundación (466.65 km²), presentando esta cuenca, sitios primarios y potenciales de producción y biodisponibilidad del metilmercurio.
- Los niveles de mercurio acumulados en la especies: *Colossoma macropomum* (Pacú), *Piaractus brachipomus* (Tambaquí), *Cichla monoculus* (Tucunaré), *Pygocentrus nattereri* (Piraña) y *Plagioscion squamosissimus* (Corvina) no sobrepasaron los límites permisibles recomendados por la OMS (500 ng/g). En la especie *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí), algunas muestras recolectadas en la cuenca del Madre de Dios, sobrepasaron los límites permisibles de la OMS.

8. RECOMENDACIONES

- El análisis de regresión lineal con variables de prueba, mostró tener ventajas sobre otros análisis estadísticos, además de ser sencillo, estricto y riguroso en las comparaciones estadísticas, realiza estimaciones apropiadas de los niveles de mercurio, por lo que se recomienda su utilización en análisis temporales y espaciales de bioacumulación y biomagnificación de mercurio en peces.
- Los análisis estadísticos a través de la longitud y edad estandarizada, expresaron resultados precisos y confiables, de este modo, se pueden establecer estándares de comparación por especie, a nivel regional y global, los cuales serían herramientas útiles para la investigación. Por ejemplo, en *Colossoma macropomum* (Pacú), el estándar para la longitud y edad podría ser a los 600 mm y 8 años; en *Cichla monoculus* (Tucunaré), a los 300 mm y 2 años; en *Pygocentrus nattereri* (Piraña), a los 200 mm y 4 años, y en *Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubí) a los 600 mm y 4 años.
- La especie: *Cichla monoculus* (Tucunaré), se muestra como una especie a ser considerada en estudios comparativos en la Amazonía boliviana, puesto que el resultado expresa un modelo lineal de bioacumulación del mercurio y corrobora a lo encontrado en estudios realizados en otras investigaciones.
- La especie: *Plagioscion squamosissimus* (Corvina), que ha mostrado algún mecanismo de biodilución de mercurio o hábito de vida, y que no expresa una bioacumulación de mercurio, resultados que corroboran lo encontrado en la Amazonía Central de Brasil, se presenta como una especie muy interesante para realizar estudios ecológicos y biológicos posteriores que determinen estos hábitos de la especie o mecanismos de dilución.
- Para la presentación de modelos estadísticos de acumulación de mercurio, se recomienda trabajar con un número significativo de muestras, distribuidos representativamente a lo largo de la curva de acumulación.
- Si bien, cinco de las especies estudiadas no han sobrepasado los límites permisibles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 500 ng de Hg/g, una exposición continua, puede provocar efectos adversos a la salud humana, por lo tanto sería importante la elaboración de recomendaciones en el consumo de los peces, para habitantes y pueblos originarios de la región.
- Los trabajos de investigación sobre la biología y ecología en los peces de la Amazonía boliviana, muy poco desarrollados hasta el momento, contribuirán de gran manera en los conocimientos sobre la acumulación del mercurio en nuestro medio, por lo que sería importante continuar con otros trabajos de investigación.

9. BIBLIOGRAFIA

- Alanoca L., 2001. Estudio de la contaminación por mercurio desechado por actividades auríferas en la Cuenca del río Beni desde las cabeceras andinas hasta Rurrenabaque. Tesis de grado para optar el título de Licenciatura en Ciencias Químicas. UMSA. La Paz, Bolivia. 90 p.
- Álvarez G., 2002. Biología de la reproducción del Tucunaré (*Cichla monoculus*), en la Cuenca del Mamoré e Iténez. La Paz, Bolivia. Carrera de Biología -UMSA. 9 p
- Amorin M., Mergler D., Bahía M., Dubeau H., Miranda D., Lebel J., Burbano R., y Lucotte M., 2000. Cytogenetic damage related to low levels of methyl mercury contamination in the Brazilian Amazon. An. Acad. Bras. Ci., 72 (4): 497-907.
- Atwell L., Keith A., Hobson A., y Weich E., 1998. Biomagnification and bioaccumulation of mercury in an arctic marine food web: insights from stable nitrogen isotope analysis. Canada. J. Fish. Aquat. Sci. 55: 1114-1121.
- Berglund O., Larsson P., y Broman D., 2001. Organochlorine accumulation and stable isotope ratios in an Atlantic salmon (*Salmo salar*) population from the Baltic Sea. The Science of the Total Environment 281 141-151.
- Boischio A., Henshel D., y Barbosa A., 1995. Mercury exposure through fish consumption by the upper Madeira river population. Brazil-1991. Blackwell Science, Inc. Ecosystem Health Vol. 1. No. 3: 177-192.
- Bourrel L., Moreau S., y Phillips L., 1999. Dinámica de las inundaciones en la cuenca amazónica boliviana. Revista boliviana de Ecología. 6: 5-17.
- Cabana G.A., Tremblay A., Kalff J., Rasmussen J.B., 1994. Pelagic food web structure in Notario Lakes: a determinant of mercury levels in lake trout (*Salvelinus namaycush*). Aquatic Science 51: 381-389.
- Carmouze J.P., Lucotte M., y Boudou A., 2001. Mercury in the Amazon. Importance of human and environment, health hazards. Synthesis y recommendations. Ed. IRD . Paris, Francia. Pp. 1-37.
- Cizdziel J.V., Hinners T., Pollard J., Heithmar E., y Cross C., 2002. Mercury concentrations in Fish from lake Mead, USA, related to Fish size, condition, trophic level, location and consumption risk. Las Vegas, Nevada, USA. Arch. Environmental Contamination and Toxicology 43, 309-317.
- Castillos Z., y Bidone E., 2000. Hg Biomagnification in the ictiofauna of the Tapajos River Region, Amazonia, Brazil. Bull. Environ, Contam. Toxicol 64: 693-700.
- Dolbec J., Mergler D., Sousa Passos C., Sousa de Morais S., y Lebel J., 2000. Methylmercury exposure affects motor performance of a riverine populations of the Tapajós river, Brazilian Amazon. Brazil. Arch Occup Environ Health 73: 195-203.
- Doyon J.F., Schetagne R., y Verdon R., 1998. Different mercury bioaccumulation rates between sympatric populations of dwarf and normal lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) in the La Grande complex watershed, James Bay, Québec. Canada. Biogeochemistry 40: 203-216.
- EUROCONSULT/CONSULTORES GALINDO LTDA, 1999. Zonificación agroecológica y propuesta Técnica del plan de uso del suelo de la región Amazónica del departamento del Beni. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación, Banco Interamericano de Desarrollo. Pp. 10-18.
- Fernández C., y Roche M.A., 1987. Recursos hídricos, salinidades y exportaciones salinas de los ríos de la Amazonía boliviana. PHICAB: ORSTOM, IHH, CONAPHI. 43 p.

Ferreira, E.J.G., Zuanon, J.A.S., y M. Dos Santos, G., 1998. Peixes Comerciais do Médio Amazonas. Região de Santarém – PA. Ed. IBAMA. Brasil. 212 p.

Foro boliviano de la Sociedad Civil sobre Medio Ambiente y Desarrollo (FOBOMADE)., 1992. El desafío ambiental en Bolivia. Documento de trabajo N°1. Ed. Servigraf. Bolivia. 26 p.

Fostier A., Forti M., Guimaraes J.R., Melfi A., Boulet R., Espiritu Santo C., y Krug F., 2000. Mercury fluxes in a natural forested Amazonian catchment (Serra do Navio, Amapá State, Brazil) The Science of the Total Environment 260: 201-211.

Garceau S., Lucotte M., Simoneau M., Laliberte D., y Larose C., 2004. Fish growth rates control mercury concentrations in certain sport fish species from Eastern Canadian Lakes. 7ma. Conferencia internacional de mercurio como un contaminante global. Eslovenia. 5 p.

Goulding M., 1980. The fishes and the forest. Explorations in Amazonian Natural History. Berkeley, University of California. 280 p.

Guyot J.L., 1993. Des fleuves de l'Amazonie bolivienne. ORSTOM France. Collection Etudes et Thèses. 261 p.

Groupe-conseil Génivar Inc., 1996. Environmental monitoring network of the la Grande Complex. Monitoring of Mercury Levels in Fish: Approach and Methods. Quebec. Pp. 1-32

Guimaraes J.R., Meili M., Hylander L.D., de Castro E., Roulet M., Narvaez J., Alves R., 2000a. Mercury net methylation in five tropical flood plain regions of Brazil: High in the root zone of floating macrophyte mats but low in surface sediments and flooded soils. The Science of the Total Environment 261: 99-107.

Guimaraes J.R., Roulet M., Lucotte M., y Mergler D., 2000b. Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajos river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. The Science of the Total Environment 261: 91-98.

Gutiérrez E., 1995. Métodos estadísticos para las ciencias biológicas. Ed. Universidad Nacional. Costa Rica. 175 p.

Hall B.D., Bodaly R.A., Fudge R., Rudd J., Rosenberg D., 1997. Food as the dominant pathway of methylmercury uptake by fish. Water, Air, and Soil Pollution 100: 13-24.

Hamilton S., Sippel S., y Melack M., 2004. Seasonal inundation patterns in two large savanna floodplains of South America: the Llanos de Moxos (Bolivia) and the Llanos del Orinoco (Venezuela and Colombia). Hydrol. Process. 18, 2103-2116.

Harris C., y Bodaly R., 1998. Temperature, growth and dietary effects on fish mercury dynamics in two Ontario lakes. Biogeochemistry 40: 175-187.

Huckabee J.W., Elwood J.W., y Hildebrand S.G., 1979. Accumulation of mercury in freshwater biota. The biogeochemistry of mercury in the environment. Pp. 277-302.

Hylander L., Pinto F., Guimaraes J.R., Meili M., Oliveira L., de Castro E., 2000. Fish mercury concentration in the Alto Pantanal Brazil: influence of season and water parameters. The Science of the Total Environment 261: 9-20.

Itakura Y., y Jiménez J., 1996. Estudio físico-químico de la calidad del agua en el área de influencia de la ciudad de Trinidad. Beni-Bolivia (1995-1996). Proyecto de Investigación ictiológica en el Beni. UTB-PIIB. Publicación científica No. 19. Trinidad-Beni-Bolivia. 71 p.

Karl C., Simon C., William A., Matthew K., y Ross S., 2001. Bioaccumulation and biomagnification of mercury in Lake Murray, Papua New Guinea. Can. J. Fish Aquat. Sci. 58: 888-897.

Lauzanne L., y Loubens G., 1985. Peces del río Mamoré. ORSTOM – CORDEBENI – UTB. ED. l'ORSTOM. 116 p.

Lauzanne, L., y Loubens, G., 1988. Estudios ictiológicos del convenio ORSTOM – CORDEBENI – UTB en la Amazonía boliviana. ORSTOM – CORDEBENI – UTB. MEMORIA. Sociedad De Ciencias Naturales La Salle. Tomo XLVIII.

Lebel J., Mergler D., Lucotte M., Amorim M., Dolbec J., Miranda D., Arantés G., Rheault I., y Pichet P., 1996. Evidence of early nervous system disfunction in Amazonian populations exposed to low-levels of methylmercury. *NeuroToxicology* 17(1): 157-168.

Lebel J., Roulet M., Mergler D., Lucotte M., y Larribe F., 1997. Fish diet and mercuri exposure in a riparian amazonian population. *Netherlands. Water, Air and Soil Pollution* 97: 31-44.

Lino H.F., 2002. Biología de la reproducción y crecimiento de *Pygocentrus nattereri* (Pises Serrasalmidae) en la cuenca del Mamoré y del Iténez (Beni, Bolivia). Tesis de Licenciatura. UMSA. Facultad de Ciencias Puras y Naturales. Carrera de Biología.

Loubens G., y Panfili J., 1997. Biologie de *Colossoma macropomun* (Teleostei Serrasalmidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). *Ichthyol, Explor, Freswaters*. Vol. 8, Issue 1. pp. 1-22.

Loubens G., y Panfili J., 2000. Biologie de *Pseudoplatystoma fasciatum* et *P. Tigrinum* (Teleostei: Pimelodidae) dans le bassin du Mamoré (Amazonie bolivienne). *Ichthyol, Explor, Freswaters*. Vol. 11, No. 1. pp. 13-34.

Loubens G., Lauzanne L., Le Guennec B., 1992. Les milieux aquatiques de la région de Trinidad (Béni, Amazonie bolivienne). *Rev. Hydrobiol. Trop* 25(1): 3-21.

Mackay D., y Fraser A., 2000. Bioaccumulation of persistent organic chemicals: mechanisms and models. Ontario, Canada. *Environmental Pollution* 110. 375-391.

Maldonado E., 2004. Biología de la reproducción y crecimiento de *Colossoma macropomum* en la Amazonía boliviana. Tesis de grado para optar el título de Magister Scientiarum. La Paz, Bolivia.

Maurice-Bourgoin L., Guyot J.L., Sèller P., Courau P., Filizola N., y Quintanilla J., 1997. Repartition des teneurs en mercure dans le eaux de surface du bassin du Madeira el de L'Amazoné. The fifth scientific assembly of the international association of hydrological sciences. Rabat, Maroco. Pp. 1-8.

Maurice-Bourgoin L., Quiroga I., Chincheros J., Coureau P., 2000. Mercury distribution in water and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *The Science of the Total Environment* 260 (2000) 73-86.

Maurice-Bourgoin L., 2001a. Distribución del mercurio en la Cuenca Amazónica Boliviana (Río Beni), impacto sobre las poblaciones ribereñas. *Revista Boliviana de Química*, Vol. 18. No 1. Pp. 16-27.

Maurice-Bourgoin L., 2001b. El mercurio en la Amazonía Boliviana. Síntesis del conocimiento sobre la contaminación por mercurio, en aguas, sedimentos y peces del río Beni y sus tributarios. Ed. Ofset Boliviana Ltda EDOBOL. La Paz, Bolivia. 66 p.

Meili M., 1991. Mercury in forest lake ecosystems, bioavailability, bioaccumulation y biomagnification. *Uppsala acta universitatis upsaliensis, Comprehensive Science of Sumaries of Uppsala Dissertations from the faculty*. Pp 131 – 157s

Meili M., 1997. Mercury in Lakes and Rivers. In: *Metal ions in biological systems. Mercury and its effects on environment and biology*. Vol 34. Ed. A. Sygel and H. Sigel. New York pp. 22 – 48.

Mergler D., Lucotte M., Corvelo T., das Gracias M., Guimaraes J.R., Davidson R., 2002. Mercury exposure and ecosystem health in the Amazon Phase II: Building solutions with the community. Final report. Pp 1-20.

Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (MDSP), unidad de Ordenamiento Territorial. Mapas del Sistema Nacional de Información de Ordenamiento Territorial. CD. Interactivo,

Mol J., Ramlal J., Lietar C., y Verloo M., 2001. Mercury contamination in freshwater, estuarine, and marine fishes in relation to small-scale Gold Mining in Suriname, South América. Environmental Research Section A 86, 183-197.

Montes de Oca I., 1997. Geografía y recursos naturales de Bolivia. EDOBOL. 3era. edic. La Paz, Bolivia. 614 p.

Muhaya B., Leermakers M., y Baeyens W., 1997. Influence of sediment preservation on total mercury and methylmercury analyses. Brussels, Belgium. Water, Air and Soil Pollution 107: 277-288, 1998.

Navarro G., y Maldonado M., 2002. Geografía ecológica de Bolivia. Vegetación y ambientes acuáticos. Ed. Centro de Ecología Simón I. Patiño-Departamento de Difusión. Cochabamba-Bolivia. 719 p.

Neumann R., y Scott M., 1999. Bioaccumulation and Biomagnification of Mercury in Two Warmwater Fish Communities. Connecticut. USA. Journal of Fishwater Ecology. Vol. 14, number 4. Pp. 487-497.

Pichet, P., Morrison K., Rheault I., y Tremblay A., ----- . Analysis of Total Mercury and Methylmercury in Environmental Samples. Pp. 41-52.

Pouilly M., Ibañez C., Gutierrez M., y Yunoki T., 1999. Funcionamiento ecológico de las lagunas de la zona de inundación del río Mamoré (Beni-Bolivia). Revista boliviana de Ecología. 6: 41-54.

Quiroga I., Maurice-Bourgoin L., 1997. Contaminación ambiental por mercurio de los ríos Chairó y Huarinilla en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Cotapata. Revista Boliviana de Química, Volumen 14. N° 1. Pp. 68-79.

Roche M.A., Fernández C., Apoteker A., Abasto N., Calle H., Toledo M., Cordier J.P, Pointillart C., 1986. Reconnaissance hydrochimique et premiere evaluation des exportations hydriques et salines des fleuves de l'Amazonie bolivienne. PHICAB : IHH, SENAMHI, ORSTOM, HM-LHRPC. 253 p.

Roche M.A., y Fernandez C., 1988. Water resources salinity and salt yields of the rivers of the bolivian Amazon. Journal of Hydrology. PHICAB. ELSELVIER, AMSTERDAM. 39 p.

Roche M.A., Fernández C., Aliaga, A., y Peña, J., 1992. Balance Hídrico Superficial de Bolivia. PHICAB-IHH-SENAMHI-UNESCO-ORSTON-CONAPHI. Bolivia. 29 p.

Roulet M., Lucotte M., Canuel R., Tran S., Rhéault I., Tran S., De Freitas Y., Farella N., De Jesus E., Dezencourt J., Souza R., Sousa C., Mergler D., y Amorin M., 1998a. Distribution and partition of total mercury in waters of the Tapajós river Basin, Brazilian Amazon. The Science of the Total Environment 213: 203-211.

Roulet M., Lucotte M., Saint-Aubin A., Tran S., Rhéault I., Farella N., De Jesus E., Dezencourt J., Sousa C., Santos G., Guimaraes J.R., Mergler D., y Amorin M., 1998b. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter do Chao formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. The Science of the Total Environment 223: 1-24.

Roulet M., Lucotte M., Dolbec J., De Freitas Gogh Y., Pacheco J.R., Sampaio da Silva D., Lebel J., Mergler D., Guimaraes J.R., 1999. Mercury bioaccumulation in two fish communities of the Tapajós River, Brazilian Amazon. Vth International Congress on Mercury as a Global Pollutant, Río de Janeiro, Brazil. Pp. 1-12.

Roulet M., Lucotte M., Canuel R., Farella N., Courcelles M., Guimaraes J.R., Mergler D.Y., Amorim M., 2000a. Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. Brazil. *Chemical Geology* 165: 243-266.

Roulet M., Lucotte M., Guimaraes J.R., Rheault I., 2000b. Methylmercury in water, seston, and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. *The Science of the Total Environment* 261: 43–59.

Roulet M., Guimaraes J.R., y Lucotte M., 2001a. Methylmercury production and accumulations in sediments and soils of an amazonian floodplain effect of seasonal inundation. Netherlands. En: *Water, Air and Soil Pollution* 128: 41-60.

Roulet M., De Freitas Y., Pacheco J., Guimaraes J.R., Mergler D., y Amorin M., 2001b. Espatio-temporal geochemistry of mercury in waters of the Tapajós and Amazon rivers, Brazil. *Limnol, Oceanogr.* 46: 1141-1157.

Roulet M., 2001c. Le mercure: son cycle biogéochimique et sa répartition aux échelles planétaire et Amazonienne. In: *Le mercure en Amazonie*. Coord.: Jean Pierre Carmouze, Marc Luccote, Alain Boudou. Paris-France. Pp 81–120.

Roulet M., y Maury-Brachet R., 2001d. Le mercure dans les eaux de surface du bassin amazonien. Transfert du mercure des sols aux milieux aquatiques, spéciation, transport et sédimentation dans les rivières et plaines d'inondation. In: *Le mercure en Amazonie*. Coord.: Jean Pierre Carmouze, Marc Luccote, Alain Boudou. Paris-France. Pp 203-272.

Sampaio da Silva D., Lucotte M., Roulet M., Poirier H., Mergler D., de Oliveira Santos E., y Crossa M., 2004. Trophic structure and bioaccumulation of mercury in fish of 3 natural lakes of the Brazilian Amazon. *The Science of the Total Environment*. (En impresión).

Sandoval M., 1997. Determinación del tipo de alimentación que ingiere el *Colossoma macropomum* (Pacú) en su habitat natural en época de aguas altas del río Mamoré. Tesis de grado para obtener el título de Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia. Trinidad – Bolivia. Pp. 1 - 42.

Servicio Nacional de Hidrografía Naval (NHN). 1998. Hidrografía de Bolivia. Descripción de ríos, Lagos, Salares y Balance hídrico superficial de Bolivia. Ministerio de Defensa Nacional. Fuerza Naval Boliviana. Primera ed. Pp. 33-159.

Silva, J., Pereira-Filho, M., y Oliveira, M., 2000. Seasonal variation of nutrients and energy in Tambaqui's (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818) natural food. *Rev. Brasil. Biol.*, 60(4): 599-605.

Tremblay G., Legendre P., Doyon J.F., Verdon R., Schetagne R., 1998. The use of polynomial regression analysis with indicator variables for interpretation of mercury in fish data. Montréal, Canada. *Biogeochemistry* 40: 189-201.

Uryu Y., Malm O., Thornton L., Pyne I., Cleary D., 2000. Mercury contamination of Fish and its implications for other wildlife of the Tapajós Basin, Brazilian Amazon. *Conservation Biology*, Pp 438-446.

Wasson J.G., Guyot J.L., Dejoux C., Roche M., 1989. Régimen térmico de los ríos de Bolivia. PHICAB: ORSTOM, IHH-UMSA, IIQ-UMSA, SENAMHI, HIDROBIOLOGIA-UMSA. La Paz, Bolivia. 35 p.

Wong A., McQueen D., Williams D., Demers E., 1997. Transfer of mercury from benthic invertebrates to fishes in lakes with contrasting fish community structures. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* 54: 1320-1330.

Yunoki, T., Torres, L., y Yagami, T., 2002. Zonificación Limnológica de la zona Norte, en la cuenca Amazónica boliviana. Patrones espaciales de gradientes de los cambios físico-químicos de las aguas y composición específica de los peces. CIRA-UTB. Trinidad, Beni, Bolivia. 25 p.

Yunoki, T., y Torres, L., 2002. Zonificación Limnológica de la región geológica Precámbrica en la cuenca Amazónica boliviana. Patrones espaciales de gradientes de los cambios físico-químicos de las aguas y composición específica de los peces. CIRA-UTB. Trinidad, Beni, Bolivia. En prensa. 17 p.

Zambrana K., 1998. Relaciones Tróficas de los peces en lagunas de la llanura inundable del río Ichilo. Tesis de grado de Licenciatura. Cochabamba, Bolivia, 102 p.

Zhou H, y Wong M., 2000. Mercury accumulation in freshwater fish with emphasis on the dietary influence. Wat. Res. Vol. 34. No. 17. pp. 4234-4242.

ANEXOS

Anexo 1. Registro de datos biométricos y del contenido de mercurio total en peces, en la Cuenca del río Itén
 Campañas: abril a mayo de 2002 y octubre de 2002.

	Fecha de muestreo	Lugar de recolección	Identific. en campo	Especie	Nombre común	Peso (gr)	Long. est. (mm)	Sexo	Edad (años)	Hg (ng/g) Peso húm.
1	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	CO 2248	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	365	245	M	1,5	59,21
2	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	CO 2249	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	1550	395	M	3,66	75,97
3	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2250	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	320	185	M	3,32	60,32
4	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2251	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	230	177	M	2,93	62,80
5	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2252	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	280	182	M	3,17	50,82
6	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2253	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	275	183	M	3,22	52,11
7	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2254	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	184	160	M	2,16	55,95
8	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2255	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	176	162	M	2,24	42,81
9	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2256	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	182	158	H	2,08	50,27
10	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2257	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	177	157	H	2,03	58,90
11	02/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2258	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	244	180	M	3,07	66,26
12	03/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	CM 2259	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	10500	670	M	7,74	26,76
13	03/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	CM 2260	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	11000	655	M	7,36	25,81
14	03/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	CM 2261	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	12000	690	M	8,28	34,14
15	03/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PF 2262	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	3080	630	M	3,84	425,89
16	03/05/2002	Río San Martín (San Martincito)	PN 2263	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	190	165	M	2,37	59,49
17	03/05/2002	Río San Martín (California)	PN 2264	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	97	128	H	0,94	12,17
18	03/05/2002	Río San Martín (California)	PN 2265	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	81	125	H	0,84	25,34
19	03/05/2002	Río San Martín (California)	PN 2266	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	127	146	M	1,60	20,68
20	03/05/2002	Río San Martín (California)	PN 2267	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	268	183	M	3,22	69,78
21	04/05/2002	Río San Martín (California)	CM 2268	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	14500	735	H	9,74	45,96
22	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2748	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	567	295	M	2,07	35,21
23	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2749	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	499	262	M	1,70	50,41
24	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2750	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	638	283	M	1,93	46,18
25	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2751	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	538	267	M	1,76	67,8
26	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2754	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	534	285	H	1,95	34,6
27	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2756	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	515	277	M	1,86	62,88
28	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2758	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	172	197	M	1,13	39,71
29	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2759	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	181	195	H	1,11	51,18
30	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CM 2760	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	4890	505	M	4,60	26,64
31	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CM 2761	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	4280	504	H	4,58	8,11
32	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2762	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	433	258	H	1,67	68,16
33	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2764	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	662	295	M	2,06	88,56
34	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2765	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	441	264	M	1,72	43,4
35	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2766	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	124	173	H	0,94	50,41
36	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2767	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	196	203	H	1,17	50,85
37	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2769	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	298	238	M	1,47	57,32
38	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2770	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	211	212	M	1,25	49,07
39	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2771	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	221	213	H	1,26	31,22
40	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2772	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	168	194	M	1,10	29,78
41	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2773	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	373	248	M	1,57	39,92
42	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2777	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	220	213	H	1,26	31,85
43	07/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	CO 2782	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	112	175	M	0,96	36,64
44	07/10/2002	Río San Martín	CM 2809	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	18300	790	H	12,31	123,52
45	07/10/2002	Río San Martín	CM 2810	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	22100	820	H	14,48	92,77

Nº	Fecha de muestreo	Lugar de recolección	Identific. en campo	Especie	Nombre común	Peso (gr)	Long. est. (mm)	Sexo	Edad (años)	Hg (ng/g) Peso húm.
46	07/10/2002	Río San Martín	CM 2811	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	2940	420	M	3,49	8,87
47	07/10/2002	Río San Martín	CM 2812	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3220	443	M	3,77	7,51
48	07/10/2002	Río San Martín	CM 2813	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	4600	495	M	4,45	13,36
49	07/10/2002	Río San Martín	CM 2814	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3580	445	M	3,79	32,74
50	07/10/2002	Río San Martín	CM 2815	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3520	448	H	3,83	13,62
51	07/10/2002	Río San Martín	CM 2816	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3720	465	H	4,05	16,01
52	07/10/2002	Río San Martín	CM 2817	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	14500	750	H	10,33	24,29
53	07/10/2002	Río San Martín	CM 2818	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	5000	515	M	4,74	4,75
54	07/10/2002	Río San Martín	CM 2819	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	7340	588	H	5,95	14,68
55	07/10/2002	Río San Martín	CM 2820	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	2180	385	M	3,09	8,91
56	07/10/2002	Río San Martín	CM 2821	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3460	462	M	4,01	9,44
57	07/10/2002	Río San Martín	CM 2822	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	11420	675	M	7,87	35,86
58	07/10/2002	Río San Martín	CM 2823	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	5500	510	M	4,67	4,99
59	07/10/2002	Río San Martín	CM 2824	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	5480	525	H	4,89	8,36
60	07/10/2002	Río San Martín	CM 2825	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	18500	830	H	15,45	97,79
61	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 2973	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	111,7	138	H	1,30	45,95
62	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 2974	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	336,5	193	H	3,75	100,57
63	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 2975	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	118,6	143	H	1,48	41,45
64	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3020	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	74,6	251	H	8,37	159,83
65	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3021	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	427	217	M	5,25	139,01
66	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3022	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	274	197	H	3,98	81,49
67	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3023	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	365	207	H	4,58	78,48
68	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3024	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	313	197	H	3,98	62,29
69	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3025	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	516	220	H	5,47	68,79
70	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3027	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	131	140	H	1,37	41,65
71	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3028	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	130	139	H	1,33	39,25
72	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3029	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	167	153	M	1,87	34
73	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3030	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	328	192	M	3,70	60,26
74	09/10/2002	Río San Martín (Bahía Sala)	PN 3031	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	279	182	M	3,17	57,84
75	10/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3094	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	1309	463	M	2,29	59,07
76	10/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3095	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	3660	635	M	2,89	211,12
77	10/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PN 3109	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	400	200	H	4,15	66,9
78	12/10/2002	Río San Martín (California)	PF 3190	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	2840	550	M	3,02	89,76
79	12/10/2002	Río San Martín (California)	PF 3191	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	4680	645	H	4,02	177,78
80	12/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3210	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	2820	580	M	3,31	147,09
81	12/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3211	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	1409	480	M	2,43	135,13
82	12/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3212	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	660	300	H	1,21	43,56
83	12/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3213	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	291	285	M	1,13	23,39
84	12/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3214	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	255	288	H	1,15	41,32
85	12/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3268	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	1944	525	H	2,79	123,79
86	12/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3269	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	1193	450	M	2,20	105,84
87	12/10/2002	Río San Martín (Bahía Redonda)	PF 3270	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubi	1252	440	M	2,12	216,69

**Anexo 2. Registro de datos biométricos y del contenido de mercurio total en peces, en la Cuenca de río Mamoré.
Campaña: mayo a junio de 2002.**

N°	Fecha de muestreo	Lugar de recolección	Identific. en campo	Especie	Nombre común	Peso (gr)	Long. est. (mm)	Sexo	Edad (años)	Hg (ng/g) Peso húm.
1	28/05/2002	Río Sécure (Concepción)	PF 2270	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	6500	760	H	6,25	242,35
2	28/05/2002	Río Sécure (Concepción)	PF 2271	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4620	715	H	5,41	249,09
3	28/05/2002	Río Sécure (Concepción)	PF 2272	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	2330	595	H	3,78	254,49
4	29/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2275	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	8300	595	H	6,34	40,85
5	29/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2280	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	4520	480	M	4,02	33,65
6	29/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2281	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	5500	514	M	4,58	33,26
7	29/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2282	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3830	476	M	3,96	32,32
8	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2285	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	11200	650	M	8,21	57,70
9	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2286	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3550	445	M	3,51	41,93
10	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2287	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3080	425	H	3,25	31,41
11	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2288	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3510	455	H	3,65	29,59
12	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2290	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	7000	566	H	5,62	42,46
13	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2291	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	9400	632	H	7,50	62,98
14	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2292	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	6400	548	H	5,23	36,05
15	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	PF 2293	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4110	685	H	4,94	100,32
16	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2294	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	6900	573	H	5,78	42,44
17	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2295	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	7200	563	H	5,55	60,78
18	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	CM 2297	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	11500	675	M	9,47	96,09
19	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	PB 2298	<i>Piaractus brachipomus</i>	Tambaqui	11000	660	H	19,00	30,44
20	30/05/2002	Río Sécure (Santa María)	PF 2299	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	3900	632	H	4,21	136,75
21	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2300	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	2730	614	H	4,00	253,93
22	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2301	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	1530	401	H	2,03	204,84
23	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2302	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	2530	579	H	3,60	285,33
24	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2303	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4450*	755	H	6,15	215,59
25	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2304	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	8000	847	H	8,62	383,93
26	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2305	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4260	684	H	4,92	305,62
27	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2306	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4370	704	H	5,23	182,55
28	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2307	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	5800	785	H	6,80	350,38
29	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2312	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	266	172	H	2,06	145,31
30	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2313	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	235	168	M	1,91	127,99
31	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2314	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	304	182	M	2,45	106,09
32	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2315	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	316	184	M	2,54	103,00
33	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2316	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	446	208	H	3,79	167,41
34	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2317	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	339	186	M	2,63	99,98
35	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2318	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	445	202	M	3,43	132,42
36	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2319	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	441	210	M	3,92	84,62
37	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2320	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	448	207	M	3,73	75,81
38	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2321	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	490	217	M	4,42	194,76
39	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2338	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	529	221	M	4,74	296,38
40	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2339	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	485	214	H	4,19	303,89
41	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2340	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	463	209	M	3,86	120,71
42	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2341	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	467	213	M	4,12	132,34
43	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2342	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	536	222	M	4,82	201,28

N°	Fecha de muestreo	Lugar de recolección	Identific. en campo	Especie	Nombre común	Peso (gr)	Long. est. (mm)	Sexo	Edad (años)	Hg (ng/g) Peso húm.
44	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2343	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	669	240	H	6,93	193,16
45	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2344	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	607	235	H	6,20	168,88
46	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2345	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	728	244	H	7,67	342,26
47	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2346	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	662	233	H	5,94	82,37
48	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2347	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	718	239	H	6,77	292,56
49	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2348	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	716	237	H	6,47	168,61
50	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2349	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	693	241	H	7,10	191,46
51	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2350	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	716	238	H	6,62	262,21
52	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2351	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	729	244	H	7,67	306,12
53	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2352	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	703	243	H	7,47	245,80
54	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2373	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	6100	723	H	5,55	196,53
55	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2374	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4700	698	H	5,14	281,97
56	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PB 2378	<i>Piarasctus brachypomus</i>	Tambaquí	1430	326	i	1,79	20,55
57	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PB 2379	<i>Piarasctus brachypomus</i>	Tambaquí	1120	290	i	1,51	15,19
58	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2380	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	234	168	H	1,91	181,05
59	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2381	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	271	177	H	2,25	261,80
60	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2382	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	216	167	H	1,88	226,41
61	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2383	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	256	175	H	2,17	125,36
62	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2384	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	264	176	H	2,21	158,85
63	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2385	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	824	308	M	2,03	154,18
64	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2386	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	370	240	M	1,39	71,85
65	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2387	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	7100	784	H	6,78	445,57
66	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2388	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4070	687	H	4,97	211,10
67	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2389	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	5030	692	H	5,04	208,96
68	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2390	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4950	696	H	5,10	215,45
69	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2391	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	3990	478	M	3,99	22,01
70	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2392	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	1370	317	M	2,06	25,37
71	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2393	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	1230	312	M	2,01	34,52
72	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2394	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	1480	330	M	2,19	15,31
73	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2395	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	1240	306	M	1,96	23,71
74	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PB 2396	<i>Piarasctus brachypomus</i>	Tambaquí	1280	319	M	1,73	23,45
75	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PB 2397	<i>Piarasctus brachypomus</i>	Tambaquí	1340	313	H	1,68	14,74
76	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PB 2398	<i>Piarasctus brachypomus</i>	Tambaquí	1690	363	M	2,11	7,49
77	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PB 2399	<i>Piarasctus brachypomus</i>	Tambaquí	1750	350	H	1,99	10,86
78	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PB 2400	<i>Piarasctus brachypomus</i>	Tambaquí	1390	214	M	1,00	7,16
79	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2404	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	1930	397	M	3,32	227,25
80	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2405	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	1420	362	M	2,71	174,26
81	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2409	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	6000	756	H	6,17	327,00
82	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2410	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	5700	708	H	5,30	173,06
83	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2411	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	4560	705	H	5,25	249,21
84	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2416	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	540	229	H	5,49	346,30
85	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2417	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	730	239	H	6,77	255,05
86	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2420	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Pirafña	720	252	H	9,95	165,25
87	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2421	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	800	386	M	3,11	214,05

N°	Fecha de muestreo	Lugar de recolección	Identific. en campo	Especie	Nombre común	Peso (gr)	Long. est. (mm)	Sexo	Edad (años)	Hg (ng/g) Peso húm.
88	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2422	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	690	361	H	2,70	255,12
89	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2426	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	200	158	M	1,57	256,09
90	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PN 2427	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	102	127	H	0,70	19,39
91	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2428	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	194	197	M	1,06	74,52
92	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2429	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	143	171	H	0,88	73,90
93	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CO 2430	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	108	157	M	0,79	36,20
94	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PF 2433	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	7500	804	H	7,28	381,78
95	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PB 2436	<i>Piaractus brachipomus</i>	Tambaquí	1110	304	H	1,61	20,54
96	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2437	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	1000	298	M	1,88	19,69
97	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2438	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	6400	558	H	5,44	56,00
98	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2439	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	8500	586	H	6,10	36,74
99	03/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	CM 2440	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	12000	700	H	11,30	870,78
100	29/05/2002	Río Sécore (Santa María)	PS 1031	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	1180	370	H	3,26	317,37
101	29/05/2002	Río Sécore (Santa María)	PS 1032	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	870	343	M	2,90	179,96
102	30/05/2002	Río Sécore (Santa María)	PS 1033	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	960	345	H	2,92	311,22
103	30/05/2002	Río Sécore (Santa María)	PS 1034	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	770	327	H	2,70	262,67
104	30/05/2002	Río Sécore (Santa María)	PS 1035	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	750	311	H	2,52	280,22
105	31/05/2002	Río Sécore (Santa María)	PS 1048	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	1650	412	M	3,90	157,84
106	31/05/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PS 1049	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	840	355	M	3,05	481,46
107	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PS 1053	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	1190	371	H	3,27	113,65
108	01/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PS 1054	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	1510	417	H	3,98	204,19
109	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PS 1058	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	1170	369	H	3,24	168,73
110	02/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PS 1059	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	1730	430	M	4,21	215,22
111	04/06/2002	Río Isiboro (San Marcos)	PS 1063	<i>Plagioscion squamosissimus</i>	Corvina	1540	412	H	3,90	125,35

Anexo 3. Registro de datos biométricos y del contenido de mercurio total en peces, en la Cuenca de río Madre de Dios
 Campaña: Diciembre de 2002.

N°	Fecha de muestreo	Lugar de recolección	Identific. en campo	Especie	Nombre común	Long. est. (mm)	Sexo	Edad (años)	Hg (ng/g) Peso húm.
1	29/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3758	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	212	H	-	391,64
2	29/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3759	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	246	H	-	261
3	29/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3760	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	208	M	-	339,97
4	29/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3761	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	246	H	-	398,19
5	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3769	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	162	M	-	179,65
6	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3770	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	150	H	-	137,02
7	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3771	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	164	H	-	115,43
8	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3772	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	161	H	-	133,33
9	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3773	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	166	H	-	117,36
10	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3774	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	142	M	-	178,78
11	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3775	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	164	M	-	119,2
12	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3776	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	161	H	-	110,81
13	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3777	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	166	H	-	201,62
14	30/11/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3779	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	145	M	-	150,04
15	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PF 3799	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	640	H	-	535,74
16	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PF 3800	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	630	M	-	367,62
17	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	PN 3804	<i>Pygocentrus nattereri</i>	Piraña	240	H	-	230,61
18	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3807	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	293	H	-	107,94
19	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3808	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	260	H	-	84,56
20	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3810	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	241	M	-	88,33
21	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3811	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	240	M	-	86,01
22	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3812	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	265	M	-	69,77
23	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3813	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	238	H	-	83,16
24	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3814	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	231	M	-	76,9
25	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3815	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	243	M	-	109,17
26	01/12/2002	Río Manurípi (Lago Bay)	CO 3816	<i>Cichla monoculus</i>	Tucunaré	235	M	-	86,41
27	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	CM 3875	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	682	H	9,13	29,07
28	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	CM 3876	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	565	M	5,32	33,63
29	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	CM 3877	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	720	H	12,23	54,58
30	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3878	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	580	M	-	367,62
31	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3879	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	605	M	-	202,8
32	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3880	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	655	H	-	193,48
33	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3881	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	605	M	-	345,53
34	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3882	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	645	H	-	581,71
35	07/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3883	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	610	M	-	358
36	08/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3915	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	600	H	-	188,27
37	08/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3916	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	610	H	-	131,99
38	08/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3917	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	590	H	-	302,99
39	08/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3918	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	680	H	-	190,87
40	08/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3919	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	640	H	-	193,61
41	08/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3920	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	670	H	-	309,05
42	09/12/2002	Río Manurípi (Manchester)	PF 3949	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	605	H	-	249,88
43	11/12/2002	Río Manurípi (Puerto Cárdenas)	CM 4046	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	475	M	3,81	26,63
44	11/12/2002	Río Manurípi (Puerto Cárdenas)	CM 4047	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	550	M	5,02	37,82
45	11/12/2002	Río Manurípi (Puerto Cárdenas)	CM 4048	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	535	H	4,75	34,31

N°	Fecha de muestreo	Lugar de recolección	Identific. en campo	Especie	Nombre común	Long. est. (mm)	Sexo	Edad (años)	Hg (ng/g) Peso húm.
46	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4049	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	580	M	5,64	31,3
47	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4050	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	620	M	6,66	18,69
48	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4051	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	670	H	8,51	30,16
49	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4052	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	735	H	14,87	53,33
50	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4053	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	685	H	9,30	24,88
51	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4054	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	680	H	9,02	76,72
52	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4055	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	710	H	11,14	45,93
53	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4056	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	640	H	7,30	27,97
54	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4057	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	690	H	9,60	27,9
55	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4058	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	680	H	9,01	74,29
56	11/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	CM 4059	<i>Colossoma macropomum</i>	Pacú	640	M	7,30	28,23
57	12/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	PF 4063	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	690	-	-	347,29
58	13/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	PF 4068	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	690	H	-	333,92
59	13/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	PF 4069	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	690	H	-	190,02
60	13/12/2002	Río Manuripi (Puerto Cárdenas)	PF 4070	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubí	800	H	-	583,38

**Anexo 4. Contenido estomacal por clase en las especies recolectadas en la Cuenca del Iténez
Campaña: abril a mayo de 2002.**

***Colossoma macropomum* (Pacú)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Fauna Béntica Moluscos	Macrófitas Tallos y raíces	Vegetales Frutos, tallos y hojas
400-500	0	50	1	49
500-600	1	1	1	98
600-700	1	2	1	97
700-800	0	1	2	98
800-900	0	0	0	100

***Cichla monoculus* (Tucunaré)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Fauna Béntica Invert. acuáticos	Vegetales Raiz, tallo, hoja, flores	Ictiofauna Peces enteros
150-200	1	9	0	90
200-250	1	18	0	81
250-300	1	27	1	72
300-350	0	18	1	80
350-400	0	0	3	97

***Pygocentrus nattereri* (Piraña)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Macrófitas Raíces y tallos	Vegetales Flores, frutos, hojas	Ictiofauna Trozos de peces	Insectos
120-140	0	73	24	3	1
140-160	1	43	0	56	0
160-180	2	20	1	77	0
180-200	0	16	20	64	0
200-220	0	8	10	81	1
220-240	0	0	0	98	2

***Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubi)**

Long. est. (mm)	Ictiofauna Peces enteros
600-650	100
650-700	100

**Anexo 5. Contenido estomacal por clase en las especies recolectadas en la Cuenca del Mamoré
Campaña: mayo a junio de 2002.**

***Colossoma macropomum* (Pacú)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Fauna Béntica Cang. e invert. acuát.	Macrófitas Raíces y tallos	Vegetales Frutos, hojas y tallos	Ictiofauna Escamas
250-350	5	35	60	0	0
350-450	4	14	10	58	15
450-550	3	1	0	96	2
550-650	5	0	3	93	0
650-750	5	5	43	48	0

***Cichla monoculus* (Tucunaré)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Macrófitas	Vegetales Tallos, hojas y raíces	Ictiofauna Peces enteros
150-200	1	0	1	98
200-300	0	0	0	100
300-350	2	0	1	97

***Pygocentrus nattereri* (Piraña)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Macrófitas Tallos y raíces	Vegetales Tallos y raíces	Ictiofauna Trozos y peces enteros	Insectos y mamíferos
120-140	0	0	12	0	80
140-160	18	0	80	2	0
160-180	27	0	7	53	13
180-200	4	1	0	95	0
200-220	4	0	4	80	0
220-240	5	4	9	51	10
240-260	3	10	12	74	0

***Pseudoplatystoma fasciatum* (Surubi)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Macrófitas Raíces	Ictiofauna Peces enteros
450-550	2	1	98
550-650	0	0	100
650-750	0	1	99
750-850	0	0	100

***Piaractus brachypomus* (Tambaqui)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Fauna Béntica Invert. acuáticos	Macrófitas Tallos y raíces	Vegetales Hojas, frutos, flores	Ictiofauna: esca- camas y trozos
250	0	2	3	95	0
350	2	0	3	81	14
650	0	0	0	95	5

***Plagioscion squamosissimus* (Corvina)**

Long. est. (mm)	Fitoplancton	Ictiofauna
350-400	2	98
400-450	1	99

Anexo 6. Número de contenidos estomacales evaluados en las Cuencas del Iténez y Mamoré

<i>Especie</i>	<i>PACU</i>		<i>TUCUNARE</i>		<i>PIRAÑA</i>		<i>SURUBI</i>		<i>TAMBAQUI</i>	<i>CORVINA</i>
	Iténez	Mamoré	Iténez	Mamoré	Iténez	Mamoré	Iténez	Mamoré	Mamoré	Mamoré
Vacio	0	1	0	2	1	13	0	8	0	1
Semivacio*	1	11	4	0	3	0	0	7	0	6
Lleno	18	16	5	7	11	20	1	7	10	6
Total	19	28	9	9	15	33	1	23	10	13

(*) Estómagos de peces que se encontraron en proceso de digestión

Anexo 7. Valores de Linf, K, to, de acuerdo a la curva modelizada según la fórmula de Von Bertalanffy

<i>Especie</i>	<i>PACU</i>			<i>TUCUNARE</i>		<i>PIRAÑA</i>		<i>SURUBI</i>		<i>TAMBAQUI</i>	<i>CORVINA</i>
	Iténez	Mamoré	Madre de Dios	Iténez	Mamoré	Iténez	Mamoré	Iténez	Mamoré	Mamoré	Mamoré
N	199	195	15	39	10	53	65	30	30	7	12
Linf	881	744	750	50,05	51	30	26	97,05	95,60	660,08	62
K	0,184	0,246	0,263	0,417	0,451	0,169	0,304	0,258	0,247	0,441	0,287
To	-0,031	-0,195	-0,002	-0,068	0,024	-2,345	-1,503	-0,219	-0,163	0,000	0,097

(N) número de muestras evaluadas en cada especie

Anexo 8. Archivo de datos para el análisis estadístico en STATGRAPHICS en *Colossoma macropomum* (Pacú)

Cuenca	LS	LSC	LSC'	E	EC	EC2	Hg	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitios
	300	-266,10	70806,68	4,00	-2,44	5,95		1	0	0	1
	300	-266,10	70806,68	4,00	-2,44	5,95		0	1	0	2
	300	-266,10	70806,68	4,00	-2,44	5,95		0	0	1	3
	500	-66,10	4368,58	8,00	1,56	2,44		1	0	0	1
	500	-66,10	4368,58	8,00	1,56	2,44		0	1	0	2
	500	-66,10	4368,58	8,00	1,56	2,44		0	0	1	3
	650	83,90	7040,01	12,00	5,56	30,92		1	0	0	1
	650	83,90	7040,01	12,00	5,56	30,92		0	1	0	2
	650	83,90	7040,01	12,00	5,56	30,92		0	0	1	3
Iténez	670	103,90	10796,20	7,74	1,30	1,68	27	1	0	0	1
Iténez	655	88,90	7904,06	7,36	0,92	0,85	26	1	0	0	1
Iténez	690	123,90	15352,39	8,28	1,84	3,38	34	1	0	0	1
Iténez	505	-61,10	3732,63	4,60	-1,84	3,40	27	1	0	0	1
Iténez	420	-146,10	21343,82	3,49	-2,95	8,71	9	1	0	0	1
Iténez	443	-123,10	15152,44	3,77	-2,67	7,14	8	1	0	0	1
Iténez	495	-71,10	5054,53	4,45	-1,99	3,94	13	1	0	0	1
Iténez	445	-121,10	14664,06	3,79	-2,65	7,01	33	1	0	0	1
Iténez	515	-51,10	2610,72	4,74	-1,70	2,88	5	1	0	0	1
Iténez	385	-181,10	32795,49	3,09	-3,35	11,21	9	1	0	0	1
Iténez	462	-104,10	10835,82	4,01	-2,43	5,91	9	1	0	0	1
Iténez	675	108,90	11860,25	7,87	1,43	2,04	36	1	0	0	1
Iténez	510	-56,10	3146,68	4,67	-1,77	3,13	5	1	0	0	1
Iténez	735	168,90	28528,82	9,74	3,30	10,88	46	1	0	0	1
Iténez	504	-62,10	3855,82	4,58	-1,86	3,45	8	1	0	0	1
Iténez	790	223,90	50133,34	12,31	5,87	34,43	124	1	0	0	1
Iténez	820	253,90	64467,63	14,48	8,04	64,66	93	1	0	0	1
Iténez	448	-118,10	13946,49	3,83	-2,61	6,81	14	1	0	0	1
Iténez	465	-101,10	10220,25	4,05	-2,39	5,72	16	1	0	0	1
Iténez	750	183,90	33820,96	10,33	3,89	15,11	24	1	0	0	1
Iténez	588	21,90	479,82	5,95	-0,49	0,24	15	1	0	0	1
Iténez	525	-41,10	1688,82	4,89	-1,55	2,39	8	1	0	0	1
Iténez	830	263,90	69645,72	15,45	9,01	81,26	98	1	0	0	1
Mamoré	480	-86,10	7412,39	4,02	-2,42	5,87	34	0	1	0	2
Mamoré	514	-52,10	2713,91	4,58	-1,86	3,47	33	0	1	0	2
Mamoré	476	-90,10	8117,15	3,96	-2,48	6,17	32	0	1	0	2
Mamoré	650	83,90	7040,01	8,21	1,78	3,15	58	0	1	0	2
Mamoré	445	-121,10	14664,06	3,51	-2,93	8,58	42	0	1	0	2
Mamoré	675	108,90	11860,25	9,47	3,03	9,19	96	0	1	0	2
Mamoré	478	-88,10	7760,77	3,99	-2,45	6,02	22	0	1	0	2
Mamoré	317	-249,10	62048,44	2,06	-4,38	19,16	25	0	1	0	2
Mamoré	312	-254,10	64564,39	2,01	-4,42	19,58	35	0	1	0	2
Mamoré	330	-236,10	55740,96	2,19	-4,25	18,08	15	0	1	0	2
Mamoré	306	-260,10	67649,53	1,96	-4,48	20,08	24	0	1	0	2
Mamoré	298	-268,10	71875,06	1,89	-4,55	20,74	20	0	1	0	2
Mamoré	595	28,90	835,49	6,34	-0,10	0,01	41	0	1	0	2
Mamoré	425	-141,10	19907,87	3,25	-3,19	10,19	31	0	1	0	2
Mamoré	455	-111,10	12342,15	3,65	-2,79	7,79	30	0	1	0	2
Mamoré	566	-0,10	0,01	5,62	-0,82	0,67	42	0	1	0	2

Cuenca	LS	LSC	LSC ²	E	EC	EC2	Hg	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3	Sitios
Mamoré	632	65,90	4343,44	7,50	1,06	1,13	63	0	1	0	2
Mamoré	548	-18,10	327,44	5,23	-1,21	1,47	36	0	1	0	2
Mamoré	573	6,90	47,68	5,78	-0,66	0,43	42	0	1	0	2
Mamoré	563	-3,10	9,58	5,55	-0,89	0,79	61	0	1	0	2
Mamoré	558	-8,10	65,53	5,44	-1,00	1,00	56	0	1	0	2
Mamoré	586	19,90	396,20	6,10	-0,34	0,11	37	0	1	0	2
Mamoré	700	133,90	17930,49	11,30	4,86	23,63	70	0	1	0	2
Madre de Dios	682	115,90	13433,91	9,13	2,69	7,22	29	0	0	1	3
Madre de Dios	720	153,90	23686,68	12,24	5,80	33,61	55	0	0	1	3
Madre de Dios	535	-31,10	966,91	4,75	-1,69	2,86	34	0	0	1	3
Madre de Dios	670	103,90	10796,20	8,51	2,07	4,28	30	0	0	1	3
Madre de Dios	735	168,90	28528,82	14,87	8,43	71,12	53	0	0	1	3
Madre de Dios	685	118,90	14138,34	9,30	2,86	8,17	25	0	0	1	3
Madre de Dios	680	113,90	12974,29	9,02	2,58	6,64	77	0	0	1	3
Madre de Dios	710	143,90	20708,58	11,14	4,70	22,13	46	0	0	1	3
Madre de Dios	640	73,90	5461,91	7,30	0,86	0,74	28	0	0	1	3
Madre de Dios	690	123,90	15352,39	9,60	3,16	10,00	28	0	0	1	3
Madre de Dios	680	113,90	12974,29	9,02	2,58	6,64	74	0	0	1	3
Madre de Dios	565	-1,10	1,20	5,32	-1,12	1,25	34	0	0	1	3
Madre de Dios	475	-91,10	8298,34	3,81	-2,63	6,90	27	0	0	1	3
Madre de Dios	550	-16,10	259,06	5,02	-1,42	2,00	38	0	0	1	3
Madre de Dios	580	13,90	193,34	5,64	-0,80	0,64	31	0	0	1	3
Madre de Dios	620	53,90	2905,72	6,66	0,22	0,05	19	0	0	1	3
Madre de Dios	640	73,90	5461,91	7,30	0,86	0,74	28	0	0	1	3

LSx= 566,10

Ex= 6,44

Donde:

- Cuenca** : Cuenca del muestreo: Iténez, Mamoré o Madre de Dios
- LS** : Longitud estándar de los peces (mm), registrada en campo
- LSC** : Longitud estándar centrada y reducida (Determinada por la resta de la longitud del pez_i a la media de la longitud de los peces de las tres cuencas)
- LSC²** : Longitud estándar centrada y reducida al cuadrado
- E** : Edad de los peces (años) (Determinada en laboratorio)
- EC** : Edad centrada y reducida (Determinada por la resta de la edad del pezi a la media de la edad de los peces de las tres cuencas)
- EC2** : Edad centrada y reducida elevada al cuadrado
- Hg** : Concentración de mercurio en peso húmedo (ng/g)

Variables binarias (regresión polinomial)

- Sitio 1** : Designa con la variable binaria 1 a la cuenca del Iténez y O a las otras cuencas
- Sitio 2** : Designa con la variable binaria 1 a la cuenca del Mamoré y O a las otras cuencas
- Sitio 3** : Designa con la variable binaria 1 a la cuenca del Madre de Dios y O a las otras cuencas

Variables de prueba (regresión lineal)

- Sitios** : Describe con el número 1 a la cuenca del Iténez, con el número 2 a la cuenca del Mamoré y con el número 3 a la cuenca del Madre de Dios.

Anexo 9. Correlación lineal entre el contenido de mercurio y la longitud estándar en dos áreas de estudio del río Tapajós: Brasileia Legal y Cametá en las especies: a) *Cichla ocellaris* (*Cichla monoculus*) b) *Serrasalmus nattereri* (*Pygocentrus nattereri*) d) *Pseudoplatystoma fasciatum* e) *Plagioscion squamosissimus*. Fuente: Roulet *et al.*, 1999.

