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

Impactos sobre las poblaciones ribereñas

IRD
Institut de recherche pour le développement

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES

FONAMA
Fondo Nacional para el Medio Ambiente

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

Impactos sobre las poblaciones ribereñas

Por

Laurence MAURICE BOURGOIN
Investigadora al Instituto de Investigaciones para el Desarrollo (IRD, ex-Orstom)

Con la participación de:

- *Irma QUIROGA, Lucia ALANOCA, Liszhet FLORES*
  UMSA - Instituto de Investigaciones Quimicas
- *Jaime CHINCHEROS*
  UMSA - Instituto de Ecología - Laboratorio de Calidad Ambiental

Con el auspicio de:

FONAMA
Fondo Nacional para el Medio Ambiente

IRD - Bolivie
IRD
Institut de recherche pour le développement

Embajada de Francia
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

La Paz - Bolivia
2001

El mercurio en la amazonía boliviana

Primera edición, abril 2001

REGISTRO DE PROPIEDAD INTELECTUAL:

Depósito Legal:	4-1-556-01
Autora:	Laurence Maurice Bourgoin
Cuidado de Edición:	Laurence Maurice Bourgoin
Impresores:	Editorial Offset Boliviana Ltda. EDOBOL Calle Abdón Saavedra 2101 Teléfonos: 410448 - 412282 - 415437 Fax: 372552 La Paz - Bolivia

Reservados todos los derechos legales

Se prohibe la reproducción total o parcial del contenido de esta obra, asi como su fotocopia o su registro por cualquier medio de recuperación y/o transmisión de información ya sea mecánico, fotoquímico, eléctrico, magnético, etc. sin la oportuna autorización escrita del editor

Impreso en Bolivia
Printed in Bolivia

Sumario

Agradecimientos: 7

Prólogo 9

Resumen 11

1- **La Amazonía Boliviana** 13

1.1 Su historia 13

1.2 Su geografía 14

1.3 Sus características geomorfológicas y geológicas 17

1.3.1 Los Andes 17

1.3.2 Los Llanos 17

1.3.3 El escudo brasileño 17

1.4 Clima e hidrografía 18

1.4.1 El clima 18

1.4.2 La hidrografía 18

1.5 Hidrología y importancia de las fuentes andinas en el transporte de sedimentos y contaminantes asociados 19

2- **Fuentes y ciclo del mercurio** 24

2.1 Fuentes naturales 24

2.2 Fuentes de origen antrópico 24

2.3 Ciclo del mercurio 26

3- **Distribución del mercurio en la amazonía boliviana** 28

3.1 Material y métodos 28

3.1.1 Muestreo 28

3.1.2 Conservación 28

3.1.3 Mineralización 30

3.1.4 Análisis 30

3.2 Distribución del mercurio en las aguas de superficie 31

3.3 Distribución del mercurio en los sedimentos 36

3.4 Distribución del mercurio en los peces 40

3.4.1 Resultados 40

3.4.2 Discusión 44

4- **Impacto sobre las poblaciones ribereñas** 48
4.1 Sobre las poblaciones mineras 48
4.2 Sobre las poblaciones ribereñas (río Beni) 50
4.2.1 Los agricultores de las riberas del río Beni 50
4.2.2 Los pescadores y consumidores de peces 51
4.3 Sobre las comunidades indígenas 53
5- **Cartografía de zonas en riesgo de contaminación** 59
6- **Conclusiones y recomendaciones** 64
Referencias Bibliográficas 67
Índice de figuras 71
Índice de tablas 74
Índice de mapas de zonificación de la contaminación 75

Agradecimientos:

Se destaca el apoyo económico que se ha recibido de:

- **FONAMA,** Fondo Nacional para el Medio Ambiente
- **IRD,** Instituto Francés de Investigaciones para el Desarrollo
- **Embajada de Francia** en Bolivia

Dirijo mis primeros agradecimientos a todas las personas ribereñas de los ríos K'aka, Tuichi, Quiquibey, Beni, Mamoré y Madeira, a todas las comunidades indígenas visitadas así como a todos los mineros que han participado a nuestro estudio, por su gentil colaboración y simpatía.

Sinceramente a todo el personal del Laboratorio de Calidad Ambiental de La Paz (UMSA - IE) por su gentil colaboración y su comprensión durante la larga etapa de análisis, base fundamental de este trabajo, así como a todo el personal del Laboratorio de Radioisótopos de la Universidad Federal de Río de Janeiro, en Brasil, que nos han acogido con mucha generosidad y simpatía, iniciándonos a la técnica de Absorción Atómica. Mis agradecimientos se dirigen más específicamente a Olaf Malm, Helena do Amaral Kehrig y Jean-Remy Guimarães. De la UMSA-IIQ, quisiera agradecer a Jorge Quintanilla por la corrección de la ortografía de esta obra, y por su apoyo administrativo durante las ultimas etapas del proyecto FONAMA.

Al director del Parque Madidi por su colaboración desinteresada.

A nuestro amigo fotógrafo André Fatras por sus fotos, su profesionalismo y su amistad, así como al médico José Rodrigo por su trabajo y apoyo amistoso durante este estudio. Agradezco también profundamente a Bénédicte Barrère por su ayuda experta en la realización de los mapas temáticos.

Terminaré por agradecer a todos mis colegas del IRD con quien he compartido esos seis años de cooperación en Bolivia, así como a los de la UMSA, quién me ayudaron a trabajar en un ambiente sencillo y amistoso. Gracias más específicamente a Jean-Loup Guyot quien confió en mis investigaciones, apoyándome desde el inicio.

Dedico esta obra a mi esposo Pascal y a mi hijito Teo,

igualmente al resto de mi familia y de mis amigos

apoyándome por todos los confines del mundo.

Prólogo

Si bien el mercurio tiene orígenes naturales, por ejemplo por disolución de rocas volcánicas, afloramiento de aguas termales, etc...; la actividad antrópica que provoca erosión acentuada o la descarga del elemento de actividades mineras ha provocado índices de contaminación severa en distintas regiones del mundo.

En el caso particular de Bolivia, el chaqueo y las actividades de explotación auríferas, cada vez más numerosas en la Amazonía, región afectada por la "fiebre del oro" en los años 70, se constituyen en las principales causas del incremento de la contaminación con mercurio, por razones de tipo antrópico.

El uso del mercurio en la minería no es reciente, data de hace más de 400 años e incluso desde que los españoles durante la conquista lo introdujeron en lugares tradicionales de explotación minera en Bolivia, como los Yungas y la Cordillera Real. En las últimas décadas su uso se ha incrementado de forma alarmante, debido a intensas actividades de explotación aurífera, desarrolladas principalmente en la cuenca amazónica.

En el presente estudio, se demuestran los impactos y el riesgo ambiental que implican las actividades de la pequeña minería del oro, más aún si se considera que ésta es una actividad económica que cobra cada vez mayor importancia por ser fuente de subsistencia de muchas familias de condición desfavorecida.

La minería de placeres auríferos de tipo artesanal, identificada en el estudio, se caracteriza por el uso inadecuado y poco técnico del mercurio en sus procesos; en realidad, la recuperación del mismo en el mejor de los casos llega a un 20%, siendo aproximadamente un 30% desechado en las orillas de los ríos y el restante 50% emitido a la atmósfera durante la quema de la amalgama.

La contaminación por mercurio de los arroyos y ríos localizados al pie de las minas auríferas ubicadas en las faldas de los Andes es evidente y extrema. Las concentraciones de mercurio analizadas en estas aguas superficiales superan hasta más de 500 veces el valor promedio mundial.

No menos importancia cobran las concentraciones de mercurio encontrados en los tributarios andinos de la cuenca amazónica debido a la erosión, y en parte debido a razones naturales, como las altas pendientes existentes, y las actividades agrícolas desarrolladas bajo técnicas no sostenibles.

El mercurio vapor puede viajar hasta centenares de kilómetros y volver a la superficie terrestre mediante las precipitaciones, contaminando suelos y ríos de las cuencas en que se originó u otras más lejanas. En las áreas auríferas, el mercurio desechado o depositado y acumulado directamente en los suelos y sedimentos puede contaminar aproximadamente 50 km alrededor del área de emisión. Bajo determinadas condiciones, se incorpora en la cadena trófica acuática contaminando los peces. Finalmente, el mercurio es almacenado casi en su totalidad en el hombre, a través del consumo de pescado contaminado.

Debido a su alto potencial tóxico, la contaminación con mercurio tiene efectos graves sobre la salud. Durante la realización del estudio que dio origen a la presente publicación se ha podido comprobar esre aspecto, habiéndose detectado inclusive casos extremos como la contaminación del ser humano antes de nacer (contaminación en útero a través del methylmercurio).

Debe señalarse que el presente trabajo, desarrollado en el marco de los programas FONAMA/UMSA/IRD ("Contaminación por mercurio en la cuenca del río Beni") e HIBAM ("Hidrogeoquímica de la cuenca amazónica") del IRD, aventaja a otros realizados en relación a esta materia en Bolivia, por la prolijidad en la utilización de métodos y la forma sistemática en la que ha sido realizado durante el período 1995 - 2000. En

este sentido debe destacarse la gran cantidad de campañas de muestreo de agua, sedimentos, peces y cabellos que fueron realizadas, en épocas de aguas bajas y altas, desde las nacientes de la red hídrica de la cuenca andina del río Beni hasta Rurrenabaque. Asimismo se han utilizado las más recientes y depuradas técnicas ("ultra-limpias") de muestreo, de conservación y de tratamiento de las muestras, que combinadas con la extrema sensibilidad de la técnica de fluorescencia atómica, permiten presentar resultados altamente confiables.

El aporte del presente estudio es muy importante, ya que muestra de forma cuantitativa, la magnitud en que la presión antrópica contribuye a la aceleración del deterioro del medio ambiente y su incidencia sobre la salud de la población y por tanto sobre la calidad de vida de los pobladores ribereños de la cuenca amazónica boliviana.

Los autores del presente trabajo han sintetizado en esta publicación los resultados de un trabajo de alto rigor científico, con la esperanza de que sus experiencias puedan servir de base e instrumento para formular programas de mitigación e impulsar el desarrollo de técnicas de explotación minera, de aprovechamiento agrícola, etc., ambientalmente sostenibles.

La Paz, Mayo de 2001

Dr.- Ing. Edgar Salas Rada
Docente Emérito de la Facultad de Ingeniería
Universidad Mayor de San Andrés

Resumen

La contaminación por mercurio de los ríos constituye un problema cada vez más preocupante en toda la cuenca amazónica. Este mercurio tiene orígenes naturales como las emisiones volcánicas o termales, la disolución de algunas rocas o la erosión de los suelos cuyos, en esta zona del mundo, presentan concentraciones en metales pesados muy elevadas. El mercurio puede provenir también de las actividades de explotación auríferas, cada vez más numerosas en la Amazonía, región afectada por la "fiebre del oro" en los años 70.

Los resultados obtenidos en la cuenca amazónica boliviana son preocupantes ya que revelan concentraciones elevadas de mercurio en las especies de peces piscívoros y carnívoros para los cuales 72% de las muestras sobran el valor limite establecido por la OMS (Organización Mundial de la Salud), y también en las comunidades Indígenas que se alimentan diariamente de peces del río Beni. Hemos podido observar en las familias de esas comunidades una aumentación de las concentraciones de mercurio en los niños los más jóvenes confirmando su contaminación in útero. Esta observación es preocupante cuando se sabe que se han detectado anomalías del desarrollo psicomotor del niño en asociación a su exposición ya in útero, sin que la madre presente síntomas de intoxicación.

Résumé

La contamination des fleuves et des rivières par le mercure constitue un problème de plus en plus préoccupant dans tout le bassin amazonien. Ce mercure a pour origine certaines roches et certains sols qui, dans cette région du monde, présentent des teneurs en métaux lourds très élevées. Il provient aussi en partie des exploitations aurifères relativement nombreuses en Amazonie, région touchée par la fièvre de l'or depuis les années 1970.

Les résultats obtenus dans le bassin Amazonien bolivien révèlent des concentrations élevées de mercure, en particulier dans les poissons piscivores et carnivores pour lesquels 72% des espèces dépassent le seuil limite fixé par l'OMS, et chez les communautés indigènes qui consomment régulièrement du poisson. On observe chez ces derniers une augmentation des teneurs en mercure chez les plus jeunes confirmant la contamination de ces populations in utero. Cette observation est préoccupante car des anomalies du développement psychomoteur de l'enfant ont été associées à l'exposition au mercure du fœtus pendant la période de gestation sans que la mère ne présente de symptômes d'intoxication.

Abstract

Mercury contamination in human and edible fishes and its distribution in waters and soils is an environmental problem of increasing concern in the Amazon basin. Mercury released from gold-mining activities was commonly held responsible for the Hg contamination of aquatic ecosystems but recent studies have shown the importance of the pre-anthropogenic sources in the elevated mercury concentrations measured in the superficial mineral horizons of remote forested oxisols. In Bolivia, the weathering of mercury-containing rocks and the hydrothermal springs releases mercury into the surficial environment.

The results obtained in fishes indicate, on one hand, that 72% of the piscivorous and carnivorous fishes collected in the Beni river are contaminated and on the other hand, those high mercury concentrations can nearly exceed 4 times the WHO (1976) safety limit. Unlike the gold miners, more affected by tropical diseases as malaria and yellow fever, indigenous people living on the banks of the Beni river, present elevated levels of mercury (9.81 $\mu g\ g^{-1}$ in average). We can observe an increasing of the contamination in young children still breast-fed confirming that hair mercury concentration in babies was significantly affected by maternal mercury contamination during pregnancy. This results show that the major health impact caused by mercury affects people who are not working directly in gold mining activities but who have a regular fish diet.

Nul homme n'est assez riche pour racheter son passé.
Ningún hombre es suficiente rico para comprar de nuevo su pasado
Oscar Wilde (Un mari idéal)

1- La Amazonía Boliviana

1.1 Su historia

La historia durante la época precolombina es dominada por el Imperio Inca; su área se extendía sobre miles de kilómetros, de la costa del Pacífico a los Andes. Este imperio se ha establecido sobre sociedades ya existentes y organizadas como las de los Aymaras y Tiwanaku. A pesar de la expedición del Inca Yupanqui en los Llanos, los Incas nunca consiguieron colonizar durablemente la llanura amazónica. En esta región vivían numerosas comunidades el las cuales los famosos Mojos o Moxos. Esas poblaciones, muy bien organizadas y numerosas, se habían adaptado a las inundaciones anuales construyendo rutas de agua (canales), terraplenes con el fin de mejorar y crear vías de movimiento y transporte por tierra y por agua (Denevan, 1980). Terraplenes artificiales y canales han dejado centenares de huellas claramente visibles en la tierra; algunos meandros fluviales fueron acortados con cauces artificiales entre sus cuellos.

La colonización española del Alto-Peru (hoy Bolivia) se realizó por Gonzalo Pizarro al origen de las principales ciudades coloniales del país: Chuquisaca (en 1538), Potosí (1546), La Paz (1548), Oropeza (1573, la actual Cochabamba), Tarija (1574) y San Felipe (1606, Oruro). Esta conquista se realizó después de la dominación del Perú (1530-1535) dirigiendo su armada hacía Chile. Así, 200 hombres armados fueron suficientes para tomar el Imperio Inca (Kirkpatrick, 1935).

Numerosas tentativas militares de conquista de los Llanos a partir de los Andes, entre 1538 y 1615, han sido suspendidas.

Los únicos que han podido conquistar a los Llanos son los padres franciscanos y jesuitas. La parte occidental de los Llanos (ahora departamento de La Paz) fue colonizada por los padres franciscanos. El periodo de actividad de los jesuitas en Mojos (figura 1.1) duró exactamente cien años; el padre Juan de Soto y sus compañeros entraron en 1668 y los jesuitas salieron de Mojos en 1768, de acuerdo con el decreto del año anterior que los expulsaba de América. El impacto de los padres fue muy importante ya que contribuyeron al despoblamiento de Mojos al introducir enfermedades y al crear nuevas condiciones de vida que fomentaban las epidemias. Crearon nuevos esquemas políticos y de poblamiento al reunir las aldeas indígenas dispersas en poblaciones misionales numerosas (Denevan, 1980). Los jesuitas fundaron 21 misiones semipermanentes en Mojos y evangelizaron más de 35000 Indios. Estas misiones fueron una barrera al avance portugués hacia el oeste y hasta el río Madeira, tocándoles desempañar un papel activo en la disputa fronteriza que desembocó en la conversión del río Itenez en frontera internacional entre el noreste de Bolivia y Brasil en 1771 (Denevan, 1980). El jesuita Eder (1772) de origen húngaro, escribió la primera descripción del clima, de las inundaciones y del régimen de los ríos de esta región.

La independencia de Bolivia en 1825 y la inacabable serie de revoluciones que siguieron provocó un empeoramiento social, económico y político todavía más extremado en los Llanos. En el transcurso de esta época agitada, el primer científico occidental realizó sus investigaciones en la Amazonía boliviana (Haenke, 1799).

Numerosos exploradores y científicos viajaron, después de la Independencia del país, a los Andes y a la llanura amazónica, como el Francés Alcides d'Orbigny en 1830-1832; publicó informaciones interesantes y nuevas sobre la geología, el clima y la hidrología de la cuenca amazónica boliviana (d'Orbigny, 1845). José Agustín Palacios realizó el primer descenso de los ríos Beni, Mamoré y Madeira publicando indicaciones precisas sobre las cachuelas (Palacios, 1844-1847). Las numerosas expediciones organizadas en esta época están dedicadas sobre todo a los ríos Beni, Madre de Dios y Orthon por el interés económico que representaban estas zonas para la producción de goma.

El descenso de las poblaciones indígenas se aceleró con el auge de la goma, con el que miles de Indios abandonaron las pampas en dirección a las barracas gomeras del bosque del Beni (Denevan, 1980).

El departamento del Beni fue creado en 1842, pasando la capital de San Pedro a Trinidad. Los limites presentes del Beni coinciden aproximadamente con los del Mojos jesuítico (Denevan, 1980).

1.2 Su geografía

La cuenca amazónica boliviana cubre una superficie de 724000 km^2, representando 66% de la superficie total del país. Este gran ecosistema abarca los departamentos de Pando, Beni y parte de Santa Cruz.

Esta cuenca comprende 5 subcuencas: de los ríos Beni, Abuná, Mamoré, Itenez y Madera. La cuenca total del río Madeira en Villabella (figura 1.1) cubre una superficie de 903500 km^2 y abarca 3 países: Bolivia, Brasil y Perú que representan respectivamente 74%, 14% y 12% de la superficie total de la cuenca.

La cuenca del Río Beni, el enfoque de nuestro estudio, está constituida por los ríos Madre de Dios, Orthon, Alto Beni, Kaka, Quiquibey, Tuichi, Madidi, y otros más arriba. El Río K'aka, uno de los ríos los más explotados actualmente por su oro aluvial, recibe como afluentes los ríos Tipuani, Challana, Zongo, Coroico y Mapiri, los que nacen en las faldas de la Cordillera Real.

Esta cuenca esta localizada entre 10° y 21° de latitud Sur y entre 59° y 72° de longitud Oeste. Esta limitada al Sur y al Oeste por los relieves de la cordillera oriental de los Andes, y al Este por los afloramientos del escudo brasileño.

Esta región subtropical abarca las áreas conocidas como los Yungas y faja subandina del norte y centro. Predominan áreas de climas húmedos hasta pluviales. Los suelos se encuentran sobre áreas de fuertes pendientes y están sometidas a procesos de remoción en masa y de erosión muy fuerte.

La mayor parte de esta región presenta alternativas de producción como bosques de protección y producción de maderas, pieles, etc. La explotación agropecuaria, para cultivo permanente, no es apropiada por las condiciones del suelo (Montes de Oca I., 1989).

En la "Amazonía Norte", nuestra área de estudio, se distinguen a siete grupos étnicos pertenecientes a las familias lingüísticas Ese Ejja (1800), Caviñeno (2000), Toronomas, Tacana (70), Yaminahua (120), Pano-Chacobo (800) y Pacaguara (9) (Montes de Oca I., 1997). La primera familia es la más representativa de las comunidades ribereñas del río Beni.

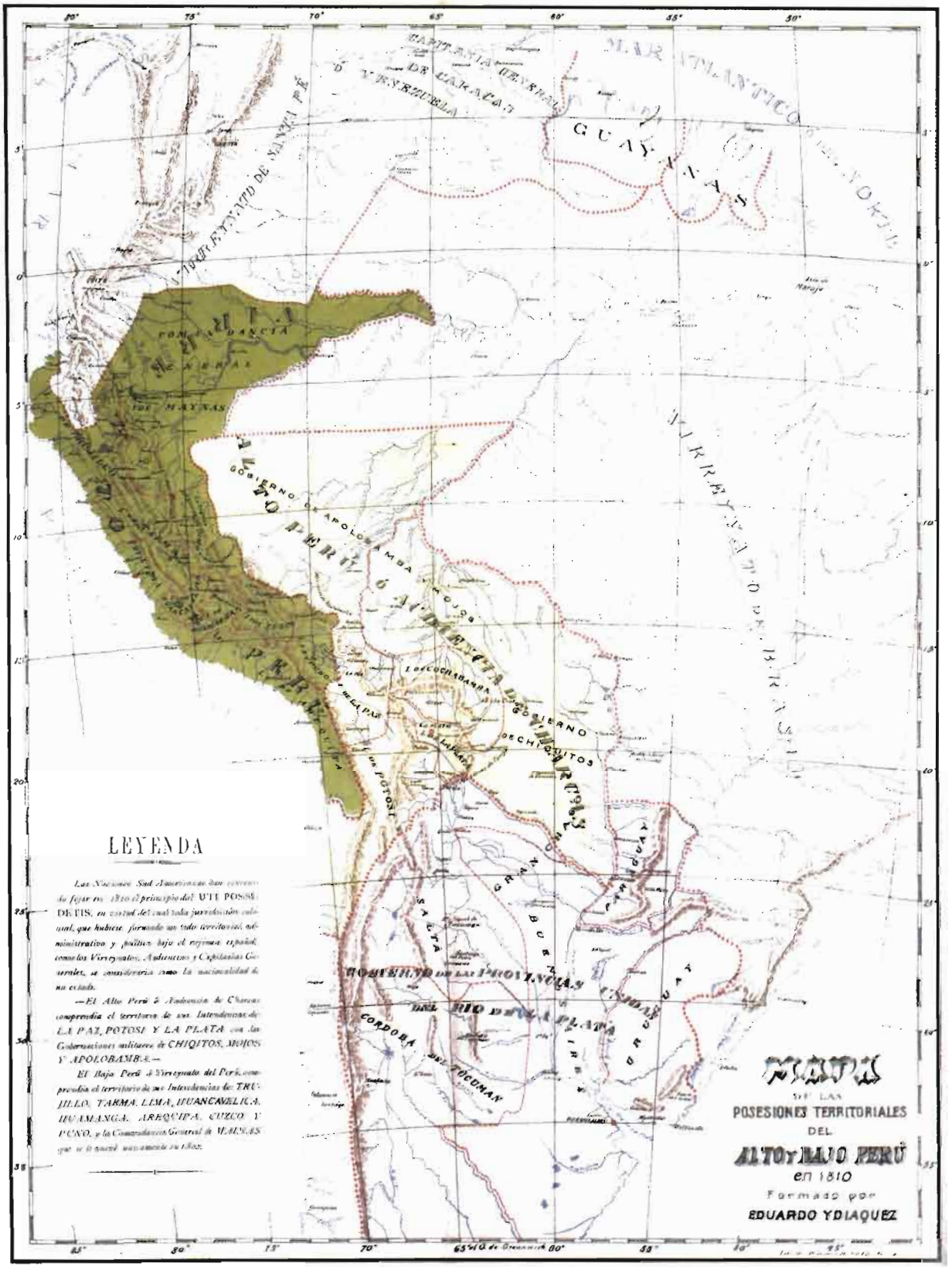


figura 1.1 Mapa histórico del Perú y Alto-Perú elaborada en 1810 (Fuente: Atlas Digital de Bolivia, IGM).

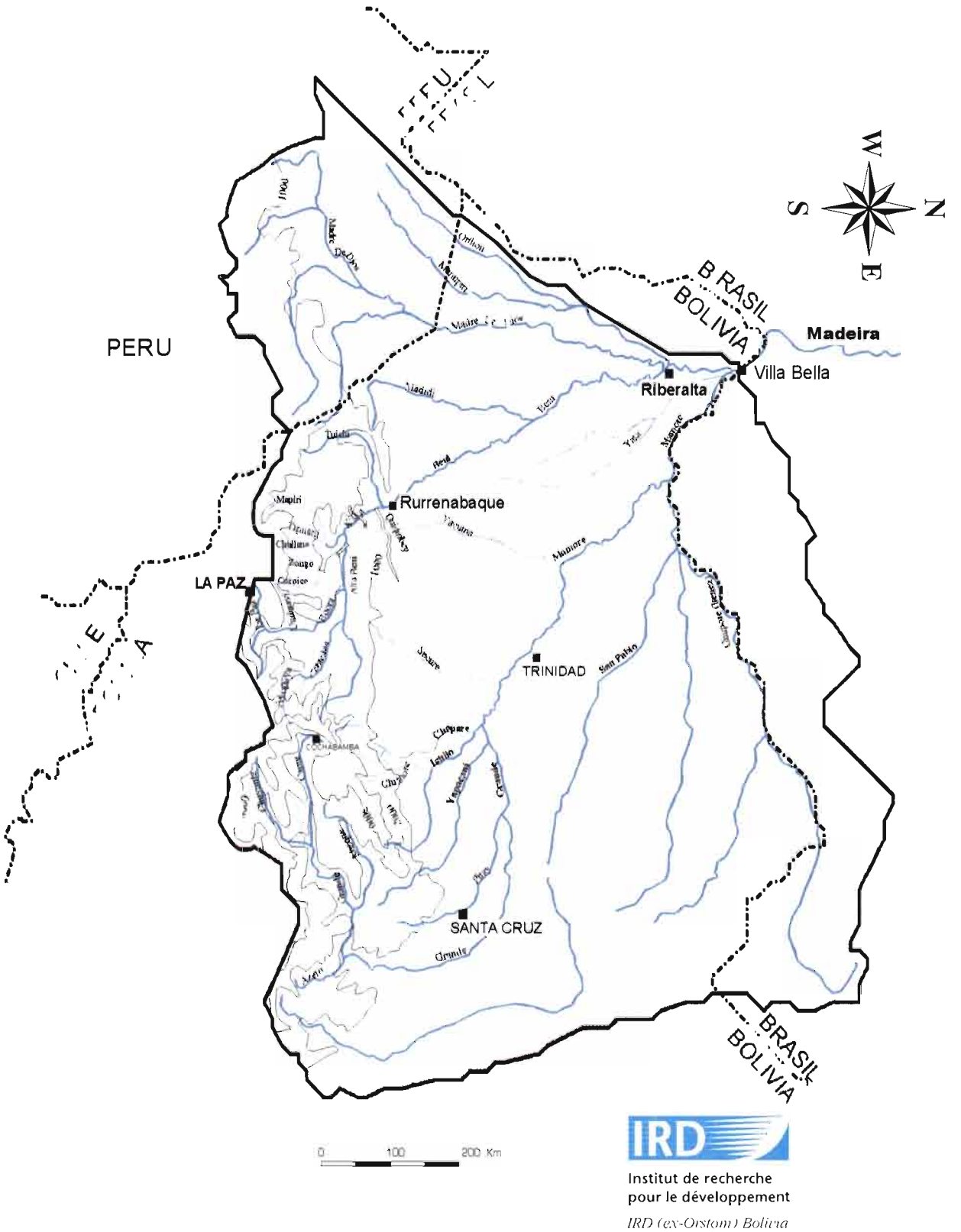


figura 1.2 Mapa hidrográfico de la cuenca amazónica boliviana del río Madeira en Villabella.

1.3 Sus características geomorfológicas y geológicas

Se distinguen 3 grandes unidades geomorfoestructurales (fig. 1.3): la cordillera andina, la llanura y el escudo brasileño.

1.3.1 Los Andes

Los Andes cubren 23% de la superficie de la cuenca boliviana del río Madeira y se extienden sobre 1400 km de longitud y 200 km de ancho. El relieve es muy marcado, con un rango de alturas que varia de 6400 m.s.n.m. hasta 500 m.s.n.m. (piedemonte andino). En la cordillera oriental, la que forma parte de la cuenca del Amazonas, se distingue la zona subandina, con alturas inferiores a 2500 m, de la cordillera oriental.

La cordillera oriental está principalmente constituida de series sedimentarias detriticas del Paleozoïco. Se han observado importantes depósitos sedimentarios del Terciario en algunas valles andinas, lo que favorece el depósito de importantes yacimientos auríferos (Hérail *et al.*, 1986 y 1991). Se ha observado en la región de La Paz, una serie fluvio-glacial muy gruesa (unos 1000 m de altura) del Plio-Cuaternario; esta formación es muy erosionable, especialmente en el valle de La Paz, en la cuenca del río Beni, donde se puede observar regularmente numerosos derrumbes y mazamorras.

1.3.2 Los Llanos

La llanura del Chaco-Beni que llamamos llanura amazónica o Llanos, representa 48% de la superficie de la cuenca amazónica total y está orientada según un eje Nor-Oeste Sur-Este, entre el relieve de los Andes y el escudo brasileño. La altura varia desde 500 m en las zonas de piedemonte hasta 115 m en Villabella.

Esta llanura es principalmente cubierta de depósitos sedimentarios del Cuaternario, productos de la erosión andina de las cordilleras real (Boliviana) y blanca (Peruana).

1.3.3 El escudo brasileño

El escudo brasileño denominado también Cratón de Guaporé, cubre 29% de la superficie de la cuenca amazónica boliviana, y corresponde al bombeo de una superficie de erosión del terciario. El relieve de esta región está caracterizado por la presencia de una meseta de una altura máxima de 550 m.

El escudo está principalmente compuesto de rocas del Precámbrico. Este escudo desaparece por debajo de una capa de sedimentos del Cuaternario y reaparece localmente al nivel de las cachuelas.

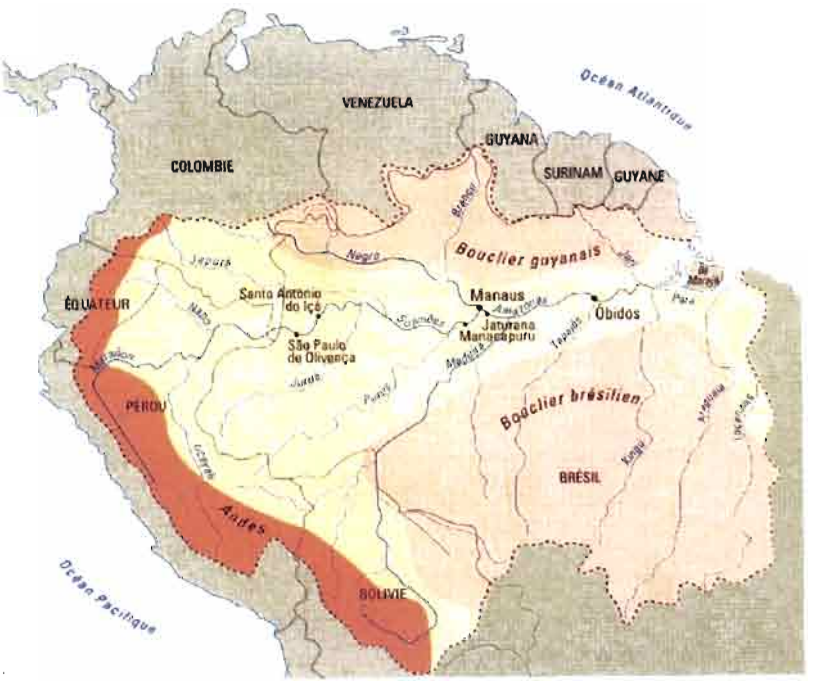


figura 1.3 Grandes unidades geomorfoestructurales de la cuenca del Amazonas (según Molinier *et al.*, 1997).

1.4 Clima e hidrografía

1.4.1 El clima

El régimen de precipitaciones de toda la cuenca del río Madeira es de origen Atlántico, y caracterizado por una época húmeda, de noviembre hasta abril, y una época seca y fría. Esta variación estacional del clima es determinada por los movimientos de la Zona Intertropical de Convergencia (ZITC) y los movimientos de los anticiclones atlánticos y pacíficos, entre los cuales se mantiene regularmente una valle de bajas presiones en Bolivia (Roche, 1986).

Del proyecto PHICAB, iniciado por investigadores del ORSTOM en cooperación con instituciones bolivianas, se ha podido realizar un balance hídrico por cuenca y su pluviometría para el periodo 1968-1982. Así, la cuenca del Río Beni recibe en su parte andina importantes precipitaciones, de 800 hasta 1000 $mm.año^{-1}$ en la cumbre, y puede sobrepasar los 4000 $mm.año^{-1}$ en la parte superior de las valles calientes de los Yungas. El valor promedio de las precipitaciones en la parte andina es de 1630 $mm.año^{-1}$ y el rango observado en los llanos es incluido entre 1650 y 2000 $mm.año^{-1}$ (Guyot, 1993).

La distribución de las temperaturas del aire sobre toda la cuenca amazónica boliviana sigue una función linear inversa con la altura (Guyot, 1993). La variación estacional de las temperaturas es la misma que la de las precipitaciones, con un mínimo en época seca y un máximo en época húmeda.

1.4.2 La hidrografía

Los tributarios del río Madeira, uno de los 4 más importantes afluentes del río Amazonas, se clasifican en función de su origen, en:

- tributarios andinos: los ríos Madre de Dios, Beni y Mamoré,
- tributarios del escudo brasileño: los ríos Guapore-Itenez, Blanco y San Martín, y
- ríos de llanura: Orthon, Yata, Negro e Ibaré.

El río Beni, el enfoque de nuestro estudio, es un río de origen andino; 41% de su superficie está localizada en la cordillera oriental de los Andes de Bolivia y Perú. El área de drenaje del río Beni en el Angosto del Bala (unos kilómetros arriba de Rurrenabaque) representa 59% del área total de este río en Villabella (fig 1.2).

El río Beni drena principalmente ríos andinos y de la llanura; el área de drenaje del escudo brasileño, aguas abajo de Cachuela Esperanza, representa solamente 0,3% de la superficie de su cuenca.

Aguas abajo de Rurrenabaque, en el río Beni, se ha observado una zona de subsidencia (Dumont *et al.*, 1991; Baby *et al.*, in press), lo que favorece el depósito de los sedimentos transportados por sus tributarios andinos. En esta región, una parte del bosque está muriendo debido a las fuertes inundaciones y a los depósitos aluviales que se acumulan sobre más de un metro de altura sobre el suelo y las raíces (Guyot, 1993). Esta zona de subsidencia corresponde a un cambio de pendientes del río, pasando de valores muy fuertes en los Yungas (40 $cm.km^{-1}$) a valores muy bajos (9 $cm.km^{-1}$) en la zona de Rurrenabaque.

1.5 Hidrología y importancia de las fuentes andinas en el transporte de sedimentos y contaminantes asociados

El régimen hidrológico observado en toda la cuenca amazónica boliviana es de tipo pluvial tropical austral, caracterizado por una alternancia brutal de sequías en invierno y de lluvias tropicales en verano.

En los Andes y en el piedemonte, los hidrogramas presentan crecidas múltiples mientras que en la llanura, se observa una crecida más amplia, de tipo tropical, precedida y seguida de pequeñas crecidas (figura 1.4).

Las características hidrológicas del río Beni y de sus ttibutarios están resumidas en la tabla siguiente (según Guyot, 1993 y corregido con el seguimiento 1995-2000).

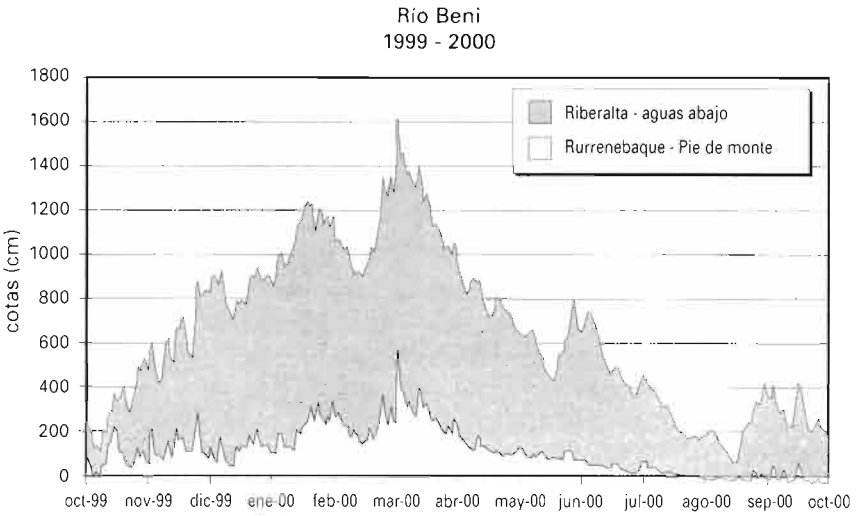


figura 1.4 Evolución aguas arriba hacia aguas abajo del hidrograma del río Beni (hidrogramas del año hidrológico 1999-2000)

Río	Estación	Altura (m)	Superficie (km^2)	Caudal promedio anual ($m^3.s^{-1}$)	Flujo sólido promedio (10^3 t.año^{-1})
Coroico	Sta. Rita Buenos Aires	440	4700	243	5300
Mapiri	Angosto Quercano	500	9400	425	36800
Kaka	Nube	400	20240	965	
La Paz	Cajetillas	760	6500	81	119000
Alto Beni	Angosto Inicua	400	29900	852	115000
Beni	Angosto del Bala	280	67500	2050	240000
Beni	Portachuelo	130	119000	2870	100000
Madre de Dios	Miraflores	130	124200	5090	51000
Beni	Cachuela Esperanza	125	282500	8920	161000
Madeira	Villa Bella	115	903500	17600	224000

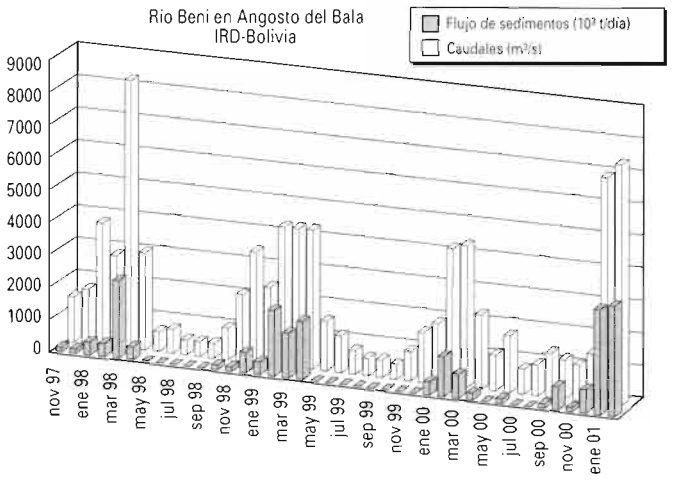


figura 1.5 Caudales y flujos instantáneos de sedimentos arrastrados a los Andes, en el río Beni en Angosto del Bala (aguas arriba de Rurrenabaque), al pie del piedemonte andino (1998-2000)

Los tres meses de aguas altas en la parte andina, de Enero a Marzo, son responsables de más de la mitad de las exportaciones anuales de los sedimentos en la llanura y este porcentaje puede sobrepasar 80% en el piedemonte andino (figura 1.5).

La importancia de esos tres meses de aguas altas aumenta con la altura de las estaciones.

El flujo total mínimo de sedimentos transportado por el río Beni en el piedemonte (Rurrenabaque) es estimado entre 165.10^6 toneladas por año (entre 1983-1989) y 240.10^6 toneladas por año (para los años 1998 a 2000). Durante el periodo 1998 a 2000, considerando la construcción de una nueva carretera en los Yungas, en el valle del Coroico, el flujo promedio anual de sedimentos transportado por este río fue estimado a 5300.10^3 toneladas por año, lo que corresponde a solo 2% del flujo total de sedimentos en el exutorio de esas cuencas (en Rurrenabaque).

En los Andes y en el piedemonte, la carga sólida depende del caudal, mientras que aguas abajo de la llanura, en Riberalta, por caudales superiores a 6000 $m^3.s^{-1}$, las concentraciones en sólidos suspendidos en las aguas superficiales no evoluan más (figura 1.6), lo que indica una importante sedimentación en la llanura amazónica boliviana. Esta perdida es estimada en un 40% en la llanura del río Beni (Guyot, 1993; Maurice-bourgoin *et al.*, 2001) y a 80% para el río Mamoré.

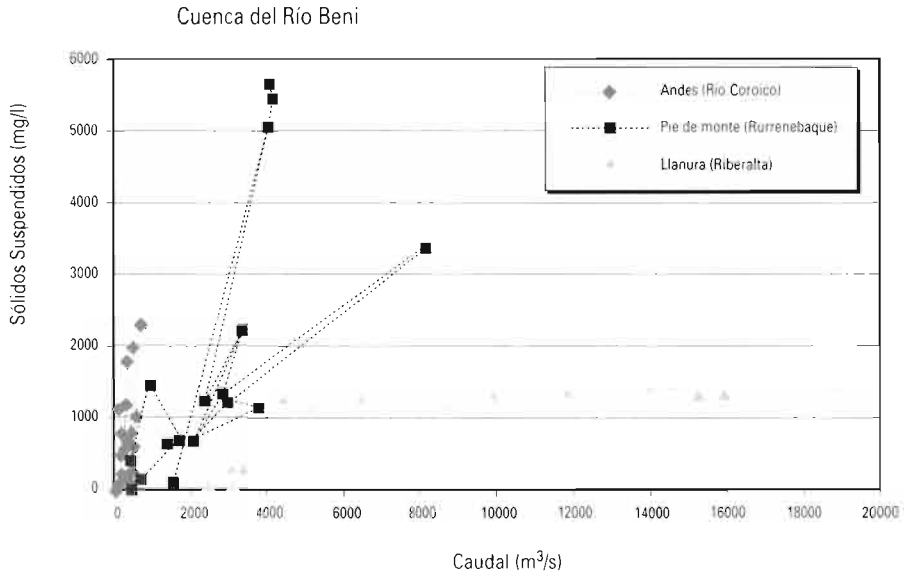


figura 1.6 Relación entre el caudal y los sólidos suspendidos transportados por el río Beni, en su parte andina, en el piedemonte y en los llanos (1998-2000).

En lo que concierne los contaminantes en general y el mercurio en particular, las concentraciones en mercurio en las aguas superficiales de la cuenca del río Madeira varían, en época seca, de 2,4 $ng.l^{-1}$ en las aguas glaciares del río Zongo hasta 7,0 $ng.l^{-1}$ en el río Madeira en Porto Velho, y llega a 10,2 $ng.l^{-1}$ a su confluencia con el río Amazonas (Maurice-Bourgoin *et al.*, 1997b, y 2000a).

De las análisis realizadas en época seca (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2000a), se observa que los valores de máxima concentración y de flujo de mercurio (Hg) no fueron registrados en los tributarios andinos explotados por su oro aluvial (2,25-6,99 $ng.l^{-1}$, y 1,07-8,67 $mg.dia^{-1}.km^{-2}$ respectivamente) pero si, 200 km aguas abajo, al pie del piedemonte andino (7,22-8,22 $ng.l^{-1}$, y 9,47-9,52 $mg.dia^{-1}.km^{-2}$ respectivamente). Los regímenes hidrometeorológicos y el transporte importante de la carga sólida en las subcuencas andinas pueden explicar este resultado. Durante la época de lluvia, de noviembre a marzo, las partículas contaminadas están transportadas desde las cabeceras andinas hasta la llanura Amazónica donde pueden depositarse. Se ha observado una zona de subsidencia al nivel de Rurrenabaque, que favorece este proceso de sedimentación. Además, la alta capacidad de adsorción del mercurio sobre las partículas finas específicamente, y la alta estabilidad de sus enlaces con el carbono explican por qué en el hidrosistema, la mayor parte del mercurio es transportado en los sólidos suspendidos finos (Rae and Aston, 1982; Maurice-Bourgoin *et al.*, 1999a y b), y en las arcillas más específicamente (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2001). Eso sucede especialmente en época de lluvia, cuando la erosión de los suelos es significativa. Por el contrario, en la llanura, la alta capacidad de sedimentación de los ríos y las actividades de explotación aurífera concentradas en el río Madeira a su formación, en la frontera Brasileña, explican las concentraciones más importantes de mercurio analizado en los sólidos suspendidos (Maurice-Bourgoin *et al.*, 1997a) que pueden alcanzar hasta 6 veces el promedio mundial. Confirmando nuestra observación, en el río Tapajós, Roulet *et al.* (1998 y 1999) encontraron que el contenido en mercurio en la columna de agua es independiente de las actividades mineras desarrolladas arriba.

Para medir la importancia del proceso de erosión en el desecho de Hg en los ríos, hemos realizado un seguimiento mensual (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2000b) en dos tributarios del río Madeira: el río Coroico, un río andino, y el río Beni, al límite del piedemonte andino y de la llanura amazónica (en Rurrenabaque). Durante los años de estudio, el río Coroico ha sido perturbado por dos actividades humanas mayores: la construcción de la carretera Cotapata en los Yungas, y las prácticas agrícolas de cultivo por chaqueo. Sin embargo, en esos 2 ríos se ha podido observar un control hidrológico en la variación estacional de las concentraciones de mercurio disuelto, particular y total (figura 1.7). Al máximo de la crecida, las concentraciones en Hg total en los ríos Coroico y Beni, son respectivamente 50 y 45 más elevadas que en época seca, con valores que sobrepasan 100 $ng.l^{-1}$.

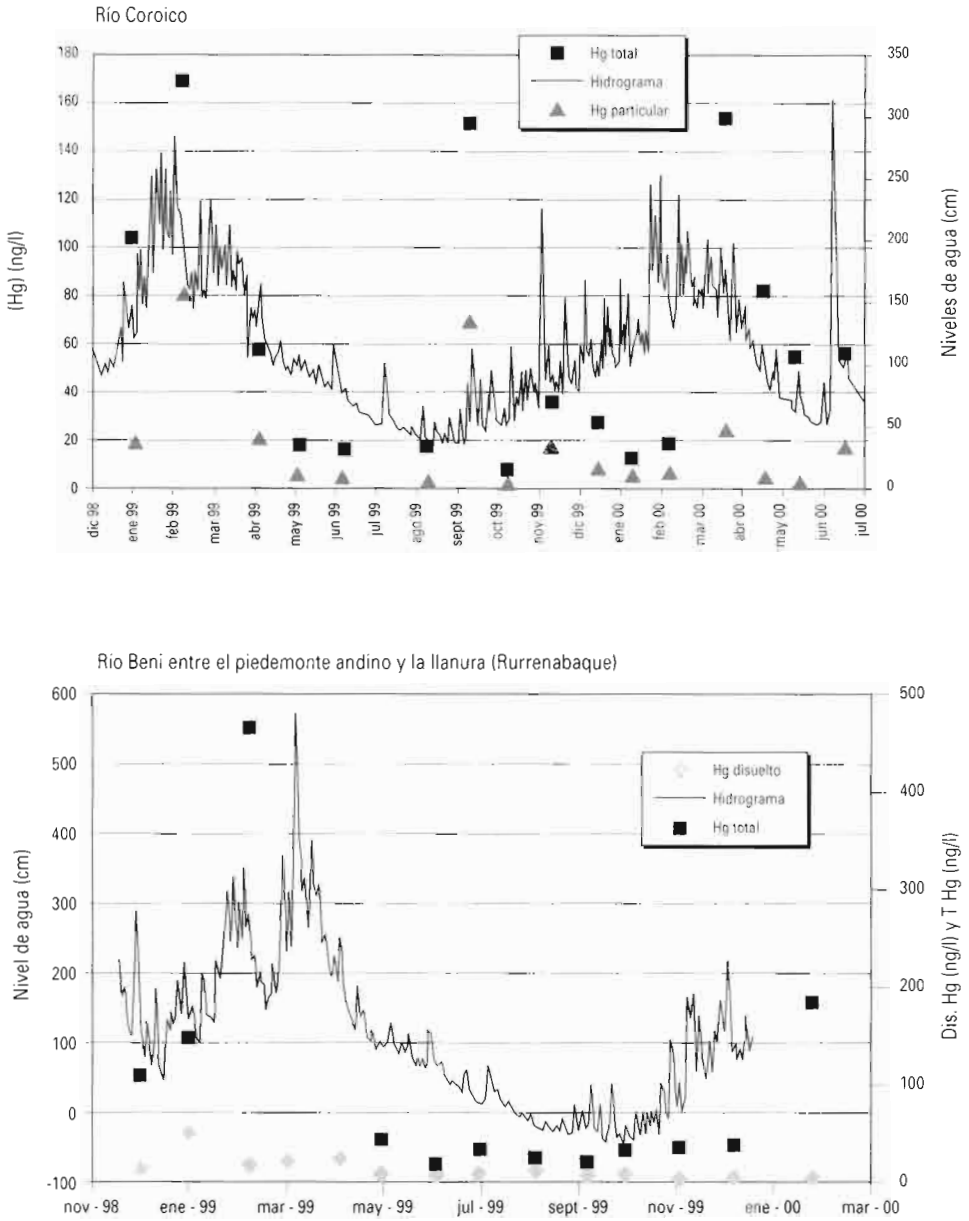


figura 1.7 Variaciones mensuales de las concentraciones en mercurio en los ríos Coroico y Beni, en Rurrenabaque (según Maurice-Bourgoin *et al.*, 2000b).

El contenido en mercurio de las partículas arrastradas a los Andes durante la época de lluvias es inferior al analizado en época seca, pero los valores muy elevados de Hg obtenidos en crecida se explica por la enorme carga de sedimentos transportados por los ríos. Por ejemplo, el flujo de sedimentos transportado por el Río Beni en Rurrenabaque varia de 2000 a 3.10^6 toneladas por día.

Aparece claramente que el factor principal de control de las concentraciones en mercurio en los tributarios andinos de la cuenca amazónica es el proceso de erosión favorecido por pendientes naturales muy fuertes, y acelerado por ciertas actividades humanas como el cultivo sobre chaqueo, la explotación aurífera, o la construcción de carreteras.

Valle del río Coroico - Cultivos sobre suelos chaqueados
Fotos: L. Maurice-B. y A. Fatras

Para concluir sobre el papel de los ríos en la contaminación mercurial, se puede hacer resaltar unas observaciones claves:

- el Hg emitido durante las operaciones de actividad aurífera en las cabeceras no contamina directamente los grandes ríos; pero sí, se puede observar una contaminación de origen natural y antrópica, aguas mucho más abajo (unos 200 km);
- la contaminación de las sub-cuencas andinas explotadas por su oro aluvial se explica más por el desecho directo de miles de toneladas de sedimentos en el transcurso de las explotaciones de los aluviones auríferos, que por el desecho directo de Hg durante esas operaciones;
- el Hg es desechado en los ríos más específicamente durante las crecidas;
- la fuerte capacidad de adsorción del Hg sobre las partículas finas, y particularmente sobre los oxi-hidroxidos (de hierro, aluminio y manganeso) asociados a las arcillas, y la alta estabilidad de sus enlaces con el carbono, explican por qué, en el hidrosistema, la mayor parte del mercurio es transportada en los sólidos suspendidos finos.

La perplexité est le commencement de la connaissance.
La perplejidad es el inicio de la cultura.
Khalil Gibran (Les Trésors de la sagesse)

2- Fuentes y ciclo del mercurio

2.1 Fuentes naturales

El mercurio está relativamente omnipresente en el ambiente y se encuentra en casi cada compartimiento ambiental incluyendo aire, gases volcánicos, agua dulce, agua de mar, suelos, rocas, sedimentos de ríos y lagos, y en organismos vivos. Aparte de la incidencia natural del mercurio en su forma elemental o como minerales, se tienen varias formas de fuentes de contaminación debidas a actividades humanas.

Las principales fuentes naturales de mercurio en la Amazonía boliviana son:

- desgacificación de la costra terrestre (volcanes, fajas geológicas, etc...)
- volatilización a partir de las aguas naturales, principalmente termales
- solubilisación de rocas enriquecidas en mercurio y otros metales pesados, como por ejemplo los esquistos negros (pizarras) con piritas; la mayor parte de las sub-cuencas andinas del río Beni presentan pizarras que afloran a lo largo de la cordillera
- erosión de los suelos durante la época de lluvias
- desgacificación por los suelos y la vegetación

2.2 Fuentes de origen antrópico

Las principales fuentes de Hg de origen antrópico son:

- fungicidas usados en agricultura
- fungicidas usados en las industrias de papel y pulpa
- electrodos de mercurio en industrias cloro-álcali
- aparatos eléctricos como rectificadores, baterías e interruptores
- usos en medicina
- quema de combustibles fósiles conteniendo trazas de mercurio
- recuperación de otros metales en minerales
- compuestos de mercurio usados en pinturas anti-suciedad y resistentes al moho
- mercurio o sus sales se usan como catalizadores en procesos industriales como la producción de acetaldehído y cloruro de vinilo
- en termómetros

En el hemisferio norte, el 80% de las fuentes antropogénicas de mercurio en la atmósfera consiste en las emisiones de mercurio gaseoso que provienen de combustibles fósiles (carbón), minas, purificación de minerales, incineración de desechos sólidos; el 15% se debe a aplicaciones directas sobre el medio terrestre, los fertilizantes, fungicidas y la combustión de desechos sólidos orgánicos y 5% de emisiones directas en el medio acuático en forma de fuentes minero-industriales. Además existe una gran variedad de fuentes difusas como las pilas, las lámparas fluorescentes a vapor de mercurio, algunas pinturas, los termómetros, los desechos y materiales industriales.

Las emisiones antrópicas globales en la atmósfera están estimadas entre 2000 y 3000 toneladas por año (Lacerda y Salomons, 1991).

El mercurio fue ampliamente utilizado en América Central y del Sur (México, Brasil, Perú y Bolivia) por siglos, para recuperar la plata y el oro, especialmente durante la colonización española. Se estima que de la mitad del siglo XVI (1550) a la última mitad del siglo XIX (1880) cerca de 200000 toneladas de mercurio fueron desechadas al ambiente en toda la América colonial hispana (Nriagu *et al.*, 1992). La tabla 2.1 muestra algunas estimaciones de las cantidades de mercurio liberado al ambiente proveniente de las actividades mineras.

Lugar	Periodo	Introducción total (toneladas)	Introducción anual (toneladas por año)
América Colonial Hispánica	1554-1880	196000	600
Toda Norte América	1840-1900	60000	1000
Colonia Brasilera	1800-1880	400	5
Amazonía Brasilera	1979-1997	2500	150
Venezuela	1988-1997	360	40
Colombia	1987-1997	240	30
Bolivia (depto. De Pando)	1979-1997	300	20
Filipinas	1985-1997	200	26
China	1992-1997	480	120

Tabla 2.1 Estimación del mercurio introducido por la minería de oro y plata (Nriagu, 1993; Lacerda y Salomons, 1998; Veiga, 1997).

El mercurio se emplea para ayudar a recuperar el oro de sedimentos donde las técnicas gravimétricas no son suficientes para extraer el oro. Luego de la separación gravimétrica, se mezcla con mercurio y detergentes la fracción que contiene el oro en estanques especiales de amalgamación.

Añadido de detergente en la pulpa

Añadido de mercurio en la preparación del amalgama

Fotos: A. Fatras

Quema del amalgama al aire libre (río K'aka)
Foto: A. Fatras

En la minería de placeres auríferos, la pulpa, donde el oro está presente, se pone en contacto directo con mercurio en mezcladoras o en canaletas con estrías; así forman un amalgama de oro/mercurio. De un total de 100% de mercurio utilizado para la recuperación de oro, del 5 al 30% es desechado directamente en las orillas del río, entre el 50 a 60% en la atmósfera durante la quema del amalgama, el resto es recuperado por los mineros para ser utilizado nuevamente. A pesar de que el mercurio puede ser recuperado mediante el uso de retortas, éstas son empleadas rara vez.

Debido a la reciente invasión de la cuenca Amazónica estas practicas se han convertido en el punto de atención más importante por las enormes cantidades de mercurio empleado. Pero cabe resaltar que en América del Sur el mercurio viene siendo utilizado por más de 400 años y en algunos de los lugares tradicionales de Bolivia tales como los Yungas y en la Cordillera Real, se ha usado desde que los Españoles lo introdujeron.

2.3 Ciclo del mercurio

El mercurio en forma de vapor es muy estable en la atmósfera en aire seco; sin embargo en presencia de agua, ozono o radiación UV se oxida a Hg^{+2} (Fitzgerald and Mason, 1997). El mercurio vapor puede viajar hasta centenares de kilómetros y volver a la superficie terrestre mediante las precipitaciones, contaminando suelos y ríos de otras cuencas que las de origen.

En las áreas auríferas, el mercurio desechado o depositado y acumulado directamente en los suelos y sedimentos puede contaminar aproximadamente 50 km alrededor del área de emisión. Bajo condiciones favorables, puede ser metilado en los sedimentos y/o por plantas acuáticas (Guimarães *et al.*, 2000; Roulet *et al.*, 2001), incorporándose en la cadena trófica acuática, y biomagnificándose hasta contaminar los peces (figura 2.1).

Finalmente, en el hombre, es almacenado el mercurio casi en su totalidad por el consumo de pescado contaminado.

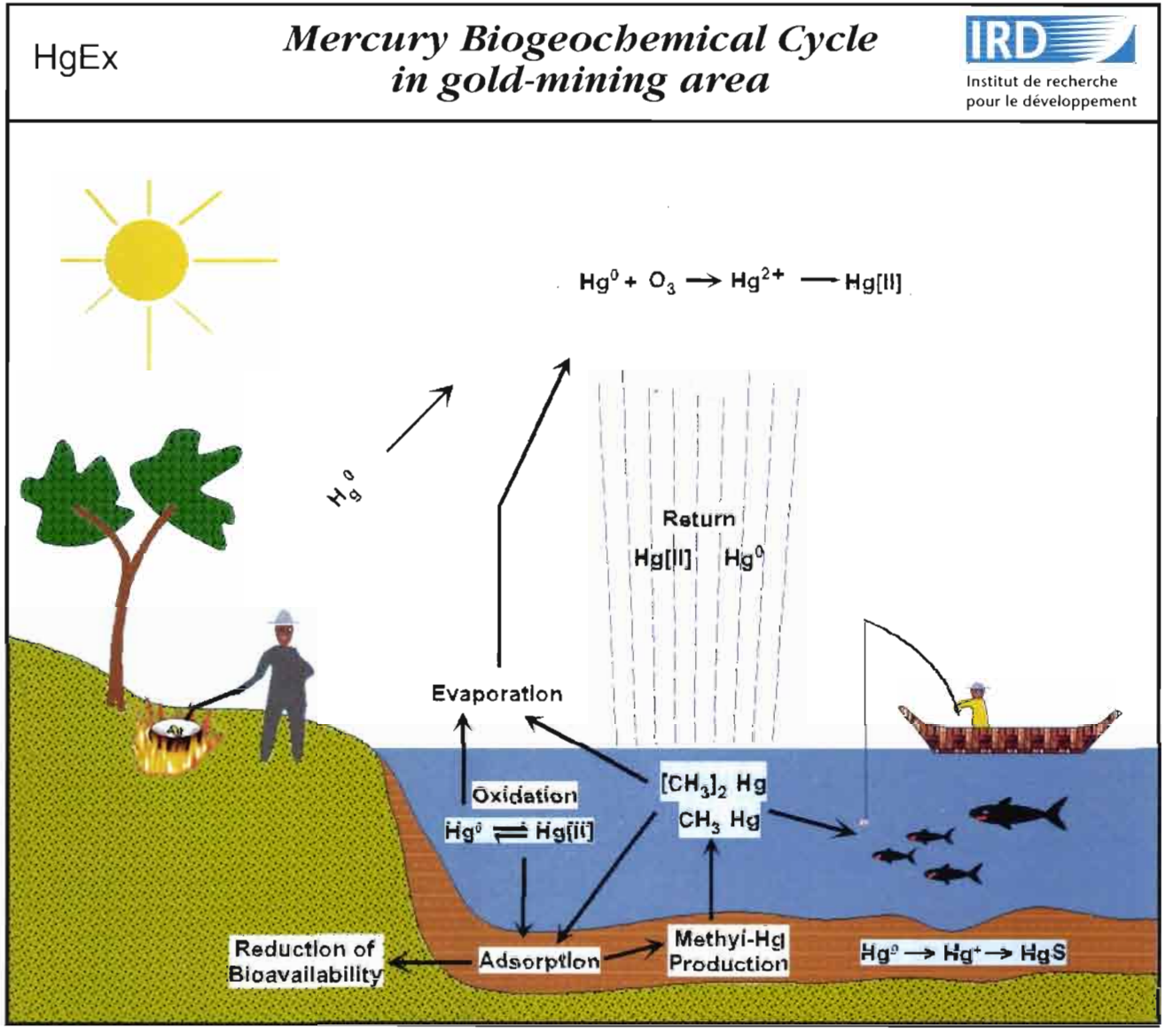


figura 2.1 Ciclo biogeoquímico del mercurio en áreas auríferas de la Amazonía.

Aiguillon de la pensée, le paradoxe est comme la vérité qui se tiendrait sur la tête pour attirer votre attention.
Aguijón del pensamiento, la paradoja es como la verdad que se tendría sobre la cabeza para llamar a su atención.
Etienne Klein (L'Atome au pied du mur)

3- Distribución del mercurio en la amazonía boliviana

3.1 Material y métodos

3.1.1 Muestreo

En el marco de los programas FONAMA/UMSA/IRD ("Contaminación por mercurio en la cuenca del río Beni") e HIBAM ("Hidrogeoquímica de la cuenca amazónica") del IRD, numerosas campañas de muestreo de aguas, sedimentos, peces y cabellos fueron realizadas entre 1995 y 2000, en época de aguas bajas y aguas altas, desde las cabeceras andinas hasta Rurrenabaque, en la cuenca del río Beni (figura 3.1).

En cada punto de muestreo fueron anotados: la ubicación geográfica exacta (punto GPS), con la fecha y la hora.

Las aguas de superficie fueron tomadas en frascos de Téflon previamente lavados al ácido nítrico, según un protocolo 'ultra-limpio' (Ahlers *et al.*, 1990; Nolting y Jong, 1994; Gaudet *et al.*, 1995) y conservados en bolsas de polyetíleno. A cada punto de muestreo, la temperatura, la conductividad y el pH fueron medidos *in situ*.

Los sedimentos fueron colectados en los mismos puntos que las muestras de agua de superficie (en época seca, más específicamente).

Cada muestra de pez fue identificada hasta la especie, y fueron medidos su longitud estándar, su peso, y su contenido estomacal.

Cada persona estudiada fue el objeto de una entrevista general en la cual fueron notados sus datos personales en relación a la problemática (nombre, edad, antecedentes familiares, ocupación, mudanzas, hábitat alimentario, etc...), y también a un reconocimiento médico.

3.1.2 Conservación

Las muestras de agua fueron filtradas sobre filtros en micro-fibras de cuarzo (Whatman QM/A; porosidad: 0,8 µm), prepesados, y calcinados a 450°C durante 24 horas, y limpiados al ácido nítrico (5% v/v HNO3 Suprapur) durante 3 días. Cada filtro fue conservado en porta-filtros en poliestireno limpiados con ácido nítrico a 5% v/v. Las filtraciones fueron realizadas en una campana portable a flujo laminar de clase 100, una a 6 horas después del muestreo. Las fracciones disueltas fueron conservadas en frascos de Téflon 'ultra-limpios' y acidificado a pH 1, al HCl destilado, hasta sus análisis.

Se congelaron inmediatamente, en el terreno, las muestras de peces y sedimentos, en un tanque de nitrógeno líquido. Los estómagos y algunas cabezas para su identificación posterior fueron conservados en formol.

Las muestras de cabellos fueron conservadas en bolsas Zip-Loc con etiquetas de identificación.

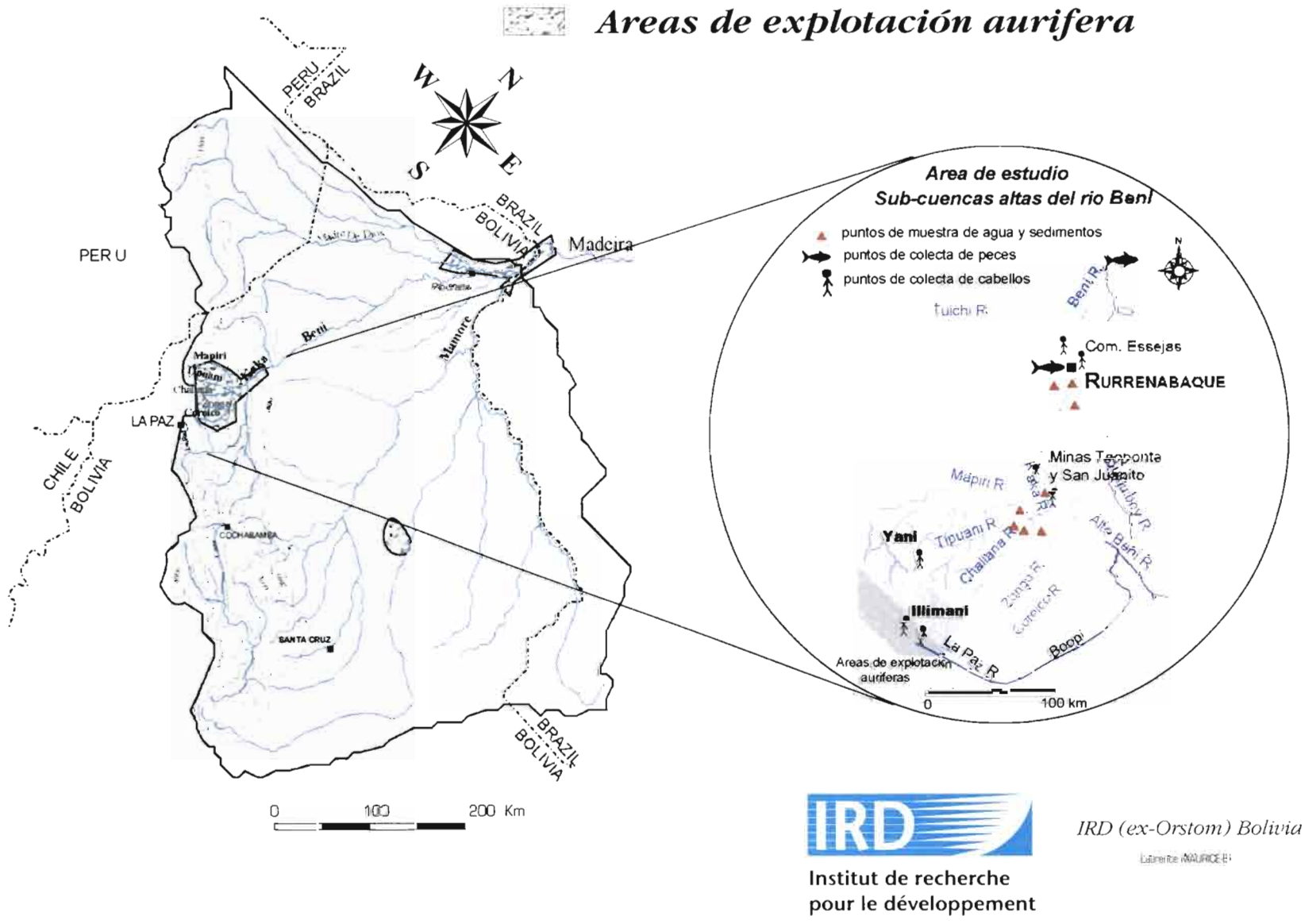


figura 3.1 Área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo de agua, sedimentos, peces y cabellos, Departamentos de La Paz y del Beni.

3.1.3 Mineralización

Los protocolos de mineralización de las muestras de sedimentos, peces y cabellos son detallados en la tabla siguiente:

Sedimentos	Peces	Cabellos
300 mg de sedimento molido y tamizado (0,4 mm) (en peso seco)	200 a 400 mg de filete (en peso húmedo)	20 mg de cabellos picados (en peso seco)
⇩	⇩	lavados con EDTA *para sacar polvo y grasas*
2,0 ml de H_2O	1,5 ml de H_2O_2	⇩
⇩	⇩	5,0 ml HNO_3:H_2SO_4 (2:1) *para mineralizar la materia orgánica*
5,0 ml HCl:HNO_3 (1:10) *para mineralizar la materia orgánica*	5,0 ml HNO_3:H_2SO_4 (2:1) *para mineralizar la materia orgánica*	⇩
⇩	⇩	Digestión 3 horas a 70°C
Digestión 3 horas a 100°C *En digestor con tapas*	Digestión 3 horas a 70°C	⇩
⇩	⇩	6,0 ml de $KMnO_4$ (5%) *para la oxidación de la materia orgánica*
Aforar con agua Milli-Q hasta 25 ml	6,0 ml de $KMnO_4$ (5%) *para la oxidación de la materia orgánica*	⇩
⇩	⇩	Digestión 1 hora a 70°C
Análisis al SAA por FIMS $SnCl_2$ (*reductor*) + HCl a 3% (*vector*)	Digestión 1 hora a 70°C	⇩
	⇩	Algunas gotas de hydroxylamina (12%) *Para neutralizar el Mn reducido*
	Algunas gotas de hydroxylamina (12%) *Para neutralizar el Mn reducido*	⇩
	⇩	Aforar con agua Milli-Q hasta 25 ml
	Aforar con agua Milli-Q hasta 25 ml	⇩
	⇩	Análisis al SAA por FIMS $SnCl_2$ (*reductor*) + HCl a 3% (*vector*)
	Análisis al SAA por FIMS $SnCl_2$ (*reductor*) + HCl a 3% (*vector*)	

Tabla 3.1 Protocolos de mineralización de las muestras de sedimentos, peces y cabellos (modificados de Agemian *et al.*, 1978 y Malm *et al.*, 1990).

3.1.4 Análisis

En las aguas, el mercurio total fue determinado por espectrofotometría de fluorescencia atómica (MERLIN PSA), en el Laboratorio de Física y Química Marinas (LPCM, Villefranche/Mer, Francia), método analítico mucho más sensible que la espectrofotometría de absorción atómica porque permite detectar concentraciones en mercurio hasta 0,05 $ng.l^{-1}$. El mercurio es reducido en su forma elemental por añadido de $SnCl_2$; después, un borbolla de argón permite transportar el vapor de mercurio retenido por inmovilización sobre una trampa de oro. Una vez la totalidad del mercurio transferido sobre el oro, un calentamiento de la trampa a la llama libera rápidamente el mercurio al estado de vapor que es detectado por fluorescencia atómica (a 253,7 nm). El añadido de patrón y las rectas de calibración realizadas cada día permitieron calcular precisamente las concentraciones en mercurio contenidas en cada muestra. La precisión y la exactitud del método fueron verificados por su excelente reproductibilidad (0,1 a 2%) y por la débiles señales de los blancos de reactivos que son del mismo orden que la limite de detección impuesta por

el blanco de argón. En la fracción disuelta de las muestras de agua, la límite de detección es de 5 pg Hg. La mediana de los blancos de ácido añadido a cada filtrado es de 8 $pg.l^{-1}$, sea una contribución de 0,1% sobre las concentraciones analizadas sobre aliquotes de 5 a 10 ml. En cambio, la precisión de los análisis realizados en las suspensiones de 25 pg Hg es limitada por el error de los blancos de filtros con una mediana de 64 pg Hg analizada sobre filtros limpios.

El análisis del contenido en mercurio en los sedimentos, cabellos y los peces fue realizado por Espectrometría de Absorción Atómica (PERKIN ELMER 3110) en el Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología de la UMSA (fig. 3.2). Los equipos fueron calibrados diariamente y las concentraciones obtenidas fueron certificadas por el análisis de material de referencia adecuado. Una parte de las muestras fue enviada en el Laboratorio de Radioisotopos de la Universidad Federal de Río de Janeiro para la validación de los resultados.

La reproducibilidad (0,5 a 10%) en la determinación del mercurio por AAS fue controlado en triplicado e intercalibrado con muestras estándares proporcionadas por la Swedish Food Administration, el IAEA y el NIST. Los límites de detección para sedimentos, peces y cabellos fueron de 5, 10 y 1 $ng.g^{-1}$ respectivamente.

3.2 Distribución del mercurio en las aguas de superficie

La combinación de técnicas 'ultra-limpias' de muestreo, de conservación y de tratamiento de las muestras, con la extrema sensibilidad de la técnica de fluorescencia atómica permite presentar resultados fiables de mercurio total en las aguas naturales.

Las concentraciones en mercurio total, en época seca, varían de 2,24-2,57 $ng.l^{-1}$ en las aguas del río Zongo, al pie del glaciar, al punto lo más arriba de la cuenca, hasta 9,49-10,86 $ng.l^{-1}$ en el río Madeira a su confluencia con el río Amazonas (Maurice-Bourgoin *et al.*, 2000a).

En lo que concierne las cabeceras andinas, se puede observar que las concentraciones en mercurio arriba de las zonas mineras no es muy fuerte (5 $ng\ l^{-1}$), es del nivel promedio mundial; pero si, aguas debajo de las minas auríferas, como las de las cooperativas "15 de Agosto" o "Pentecostés" al pie del Illimani, o en la zona del Yani, las concentraciones en el agua son multiplicadas por 8 a 20 (tabla 3.2), lo que es extremadamente fuerte. Cada campaña fue realizada en época de aguas bajas, es decir en época de alta actividad minera y sin posibilidad natural de auto-epuración o dilución. A varias decenas de kilómetros aguas abajo, en el río La Paz, se puede observar que los valores de Hg disuelto vuelven a un nivel 'normal' en junio de 1999 pero en el muestreo de mayo 2000, las concentraciones seguían muy fuertes (fig. 3.3).

La contaminación por mercurio de los arroyos y ríos localizados al pie de las minas auríferas localizadas en las faldas de los Andes es evidente y extrema. Las concentraciones de mercurio analizado en estas aguas superficiales superan hasta más de 500 veces el valor promedio mundial.

En lo que concierne el río Beni en Rurrenabaque, su concentración en mercurio total varia de 8,1 $ng.l^{-1}$ en época seca hasta más de 1000 $ng.l^{-1}$ en época de aguas altas, debido a la muy fuerte carga sólida que transporta este río en crecida.

En las aguas de los ríos andinos explotados por su oro aluvional, el rango de las concentraciones en mercurio es de 2,2-144,7 $ng.l^{-1}$ (tabla 3.2). Los valores máximos de concentraciones en las aguas no fueron encontrados necesariamente en los ríos explotados por su oro, pero sí en el exutorio de esos ríos andinos, 200 km más abajo, en la zona de Rurrenabaque (figura 3.4). Los regímenes hidrológicos, la fuerte erosión de los suelos yungueños, y el transporte importante de la carga sólida explican este resultado. Durante la época de lluvia, de Noviembre a Marzo, las partículas contaminadas son transportadas desde las cabeceras andinas hasta la llanura Amazónica donde una parte, hasta 40% en el Beni, se deposita. Además, la presen-

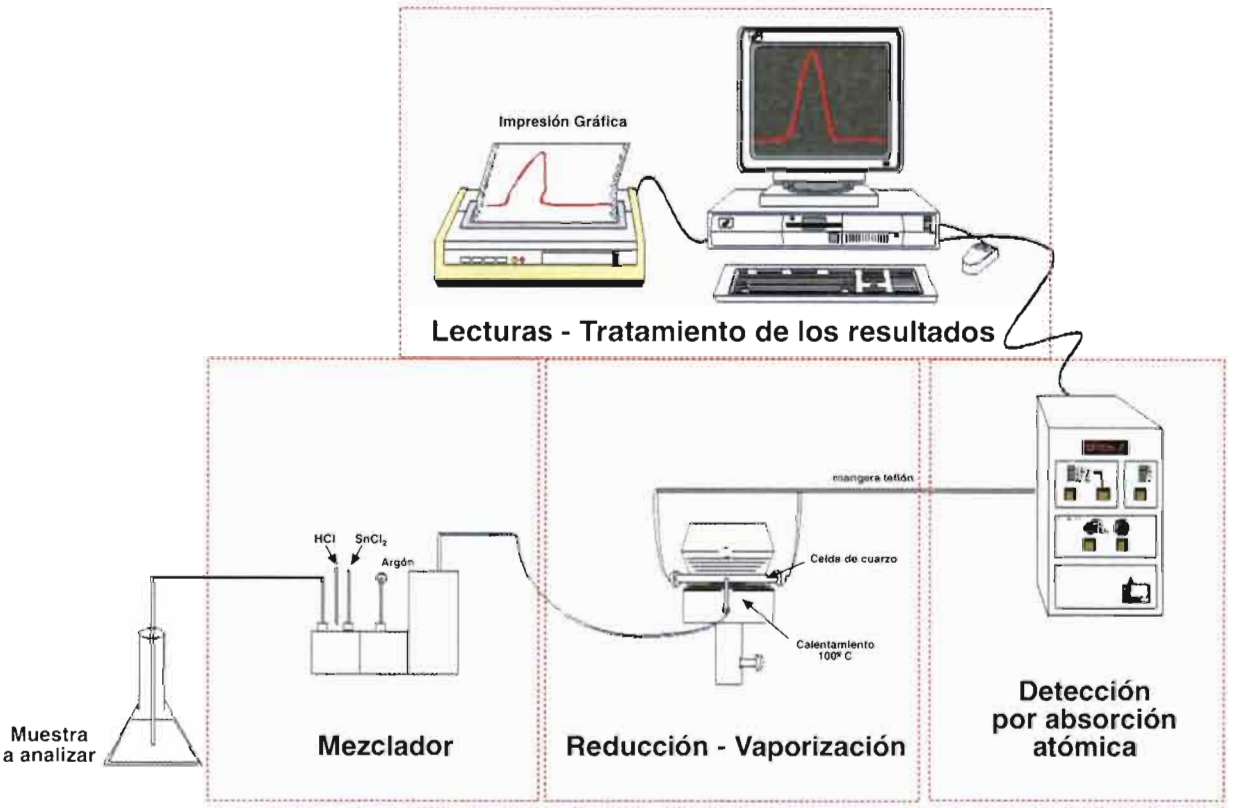


figura 3.2 Esquema del análisis del mercurio por Espectrometría de Absorción Atómica.

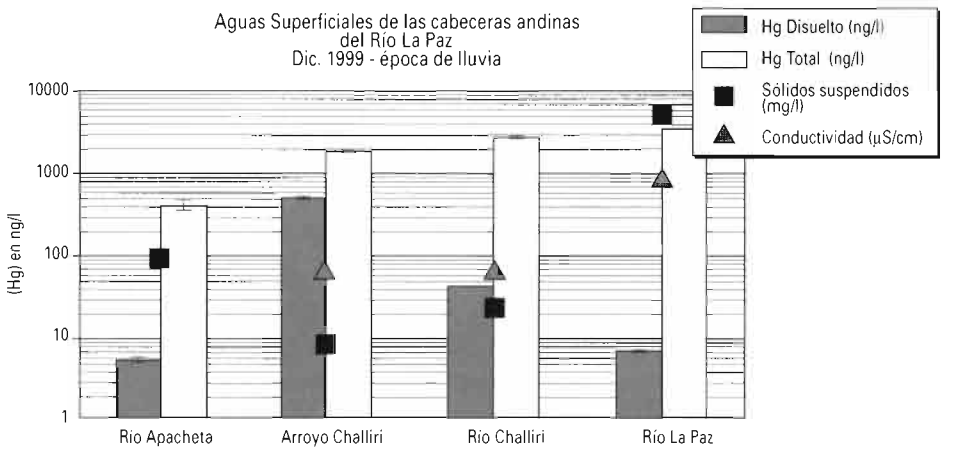
cia de aguas termales, saliendo en el río Beni al nivel del Angosto del Bala, pueden aumentar el contenido de las aguas en metales pesados (análisis en curso).

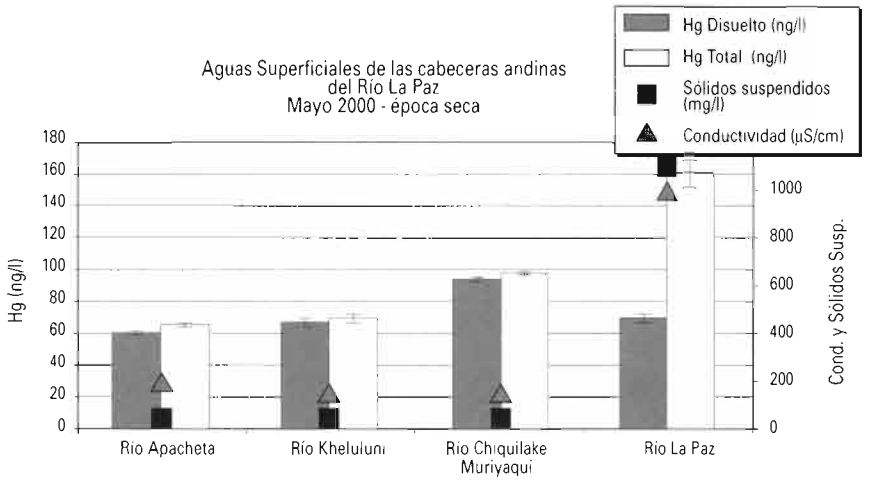
El río K'aka es caracterizado por un numeró muy importante de cooperativas auríferas instaladas en sus orillas (Maurice-Bourgoin *et al.*, 1999a) y un lecho bastante largo lo que facilita el depósito de las partículas contaminadas desechadas por las minas. Las partículas mismas no son muy concentradas en mercurio pero la alta carga sólida y el régimen hidrológico aumentan la contaminación en mercurio de este río.

El río Mapiri aparece como el afluente del Beni lo más contaminado. Este resultado se puede explicar por el alto contenido en partículas finas, en arcillas, y también en esquistos negros cuya solubilización puede enriquecer las aguas de superficie en Hg, Zn y As.

Río	Longitud	Latitud	Fecha de muestreo	Temp (°C)	Cond (µS/cm)	pH	TDS (mg/l)	MES (mg/l)	Mat. Org. (% MES)	Hg Dis. (ng/l)	Dev. Est. (ng/l)	Hg Part. (ng/g)	Dev. Est. (ng/g)	HgTot (ng/l)	Dev. Est. (%)
R. Apacheta	67° 48'32,0"	16° 37' 18,6"	13-dic-99	10,1	96,1	7,59	48,1	94	11	5,43	0,12	4270,0	449,7	**407,35**	10
Arroyo Challiri	67° 45'03,2"	16° 37' 18,6"	13-dic-99	10,6	67	8,26	33,5	9	27	**472,23**	12,82	**152814,5**	1936,8	**1819,78**	2
R. Challiri	67° 44'58,0"	16° 37' 15,8"	13-dic-99	9,8	64,9	7,42	32,6	23	5	39,79	0,18	**113692,0**	5228,3	**2604,14**	4
R. La Paz	67° 27'48,5"	16° 36' 48,3"	13-dic-99	25,9	814	8,43	408,0	4708	5	6,20	0,22	751,5	38,9	**3544,26**	5
R. Apacheta	67° 42'55,5"	16° 31' 19,4"	22-may-00	7,2	133,9	8,09	67,2	2	52	63,76	0,49	57,88	45,94	**134,39**	49
R. Khelululni	67° 41'15,0"	16° 37' 21,8"	22-may-00	10,8	66,7	7,84	33,5	1	62	67,42	2,78	64,48	22,82	**69,48**	40
R. Chiquilake Muriyaqui	67° 40'29,8"	16° 38' 07,4"	22-may-00	12,6	97,3	8	48,8	26	10	94,72	1,64	52,28	16,35	**98,94**	61
Río La Paz	67° 27'44,2"	16° 36' 47,5"	22-may-00	19,6	977	8,52	490	1096	5	68,64	2,58	36,92	428,17	**979,58**	5
Yani R.	W 68° 24' 59,9"	S 15° 40' 20,0"	12-jun-99	11,5	36,5		18,7	485,06	1,52	56,57	1,09	728,00	361,74	**409,69**	43
Coroico R.	W 67° 50' 27,6"	S 15° 30' 56,6"	17-nov-97	24,8	35,3	6,89	17,8	125,23	1,86	4,66	0,35	132,00	32,16	21,19	20
Mapiri R.	W 67° 53' 07,2"	S 15° 29' 14,4"	17-dic-98	26	66,9	6,99	33	817,12	0,69	4,93	0,24	171,00	29,82	**144,66**	48
Challana R.	W 67° 52' 11,6"	S 15° 30' 43,4"	18-dic-98	20,9	17,59	6,12	8,85	445,98	1,54	15,71	0,19	50,00	29,54	38,01	29
Tipuani R.	W 67° 53' 13,4"	S 15° 30' 17,3"	18-dic-98	21,7	18,62	5,98	9,14	230,60	1,07	7,12	0,23	63,00	28,04	21,65	34
Kaka R.	W 67° 47' 17,6"	S 15° 27' 57,9"	17-dic-98	23,6	a35,4	6,44	17,7	1146,98	0,73	5,89	0,25	46,00	5,27	**58,65**	45
Tuichi R.	W 67° 31' 39,0"	S 14° 35' 25,1"	12-dic-98	23,9	59,7	7,43	33,5	691,39	1,06	26,10	0,76	53,00	7,28	**62,74**	30
Quiquibey R.	W 67° 32' 08,6"	S 14° 38' 11,2"	12-dic-98	26,6	88,1	7,55	44,2	870,86	1,10	19,81	0,05	56,00	6,37	**68,57**	35
Beni R.	W 67° 29' 45,2"	S 14° 31' 36,9"	12-dic-98	23,9	74	7,4	36,7	2246,55	1,55	13,23	0,18	45,00	18,13	**114,32**	44
Coroico R.	W 67° 50' 27,6"	S 15° 30' 56,6"	16-oct-99	26,3	33,8	8,06	16,8	5,40	12,18	8,36	0,22	700,50	260,92	12,14	13
Mapiri R.	W 67° 53' 07,2"	S 15° 29' 14,4"	17-oct-99	26,2	110,1	7,25	55,2	222,02	9,20	33,41	0,72	246,00	77,78	**88,03**	20
Challana R.	W 67° 52' 11,6"	S 15° 30' 43,4"	17-oct-99	23,3	21,8	6,65	11,1	6,87	17,57	5,04	0,28	1100,50	120,92	12,60	9
Tipuani R.	W 67° 53' 13,4"	S 15° 30' 17,3"	17-oct-99	23,7	22,1	6,24	11,2	1323,38	7,21	3,48	0,21	47,50	2,12	**66,34**	4
Kaka R.	W 67° 47' 17,6"	S 15° 27' 57,9"	17-oct-99	26,4	90,4	7,19	45,4	136,45	8,80	35,52	0,04	370,50	60,10	**86,07**	9
Tuichi R.	W 67° 32' 42,4"	S 14° 35' 30,3"	13-oct-99	28,5	75,8	7,7	38	57,22	6,45	4,64	0,25	197,00	59,40	15,91	23
Quiquibey R.	W 67° 31' 37,5"	S 14° 37' 14,2"	13-oct-99	32,6	233	8,31	116	35,47	8,48	4,83	0,11	84,00		7,81	1
Beni R.	W 67° 29' 45,2"	S 14° 31' 36,9"	13-oct-99	25	137,7	7,81	68,7	103,71	7,11	8,36	0,22	248,50	3,54	34,13	2

Tabla 3.2 Concentraciones en mercurio contenido en las aguas y suspensiones de todos los ríos estudiados en el marco del proyecto FONAMA en época seca (junio 1999, oct. 1999, nov. 1997) y en época de lluvias (dic. 98).





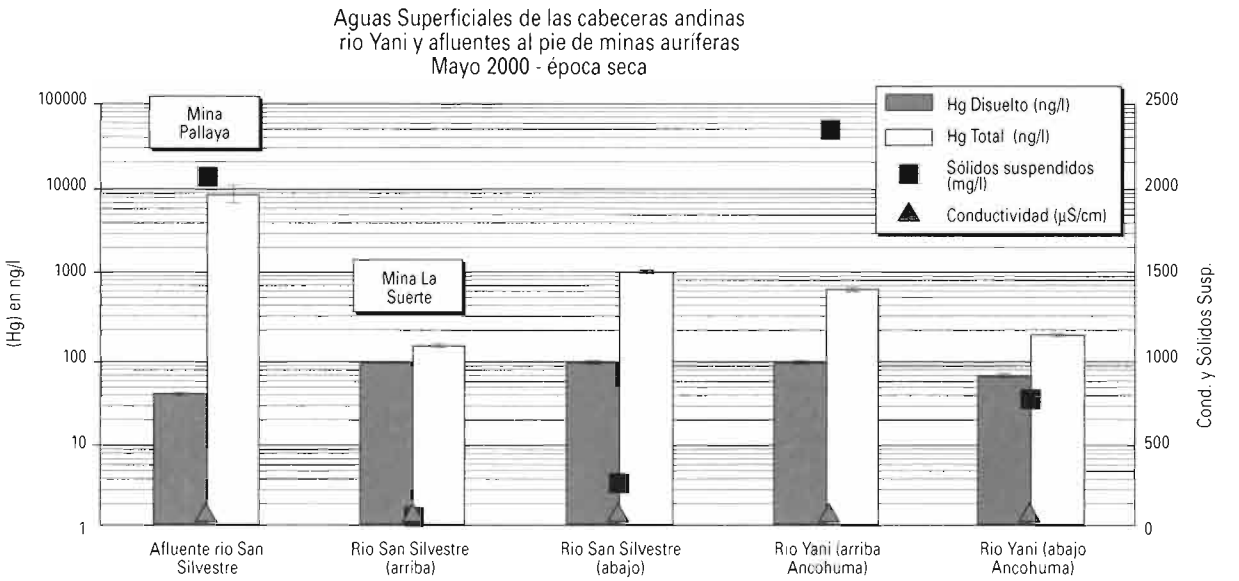


figura 3.3 Concentraciones de mercurio en las aguas y suspensiones del río La Paz y sus afluentes andinos, al pie de minas, y de los tributarios del río Tipuani, en el área del Yani. Campañas de diciembre 1999 y mayo 2000.

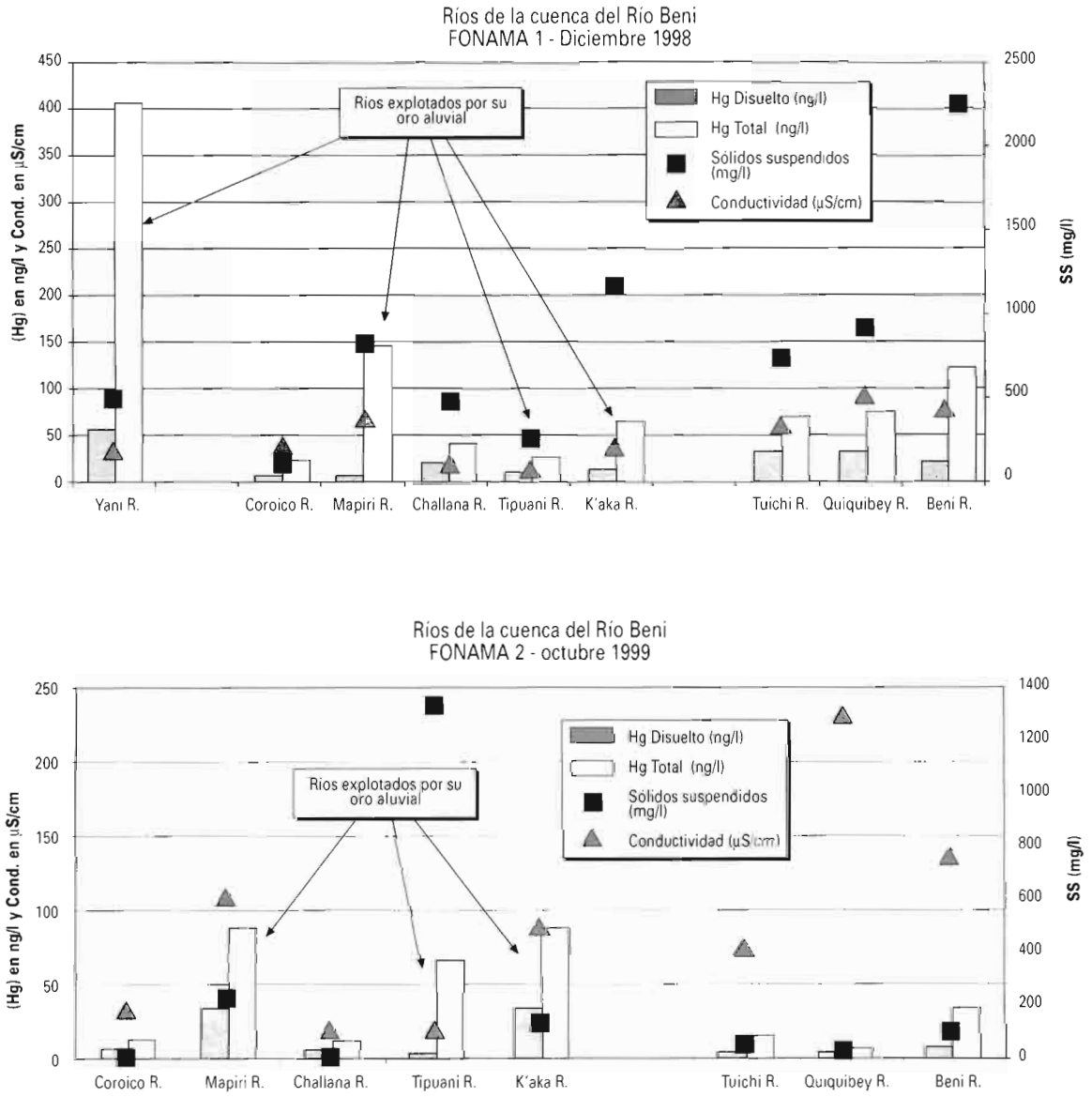


figura 3.4 Concentraciones de mercurio en las aguas y suspensiones del río Beni en Rurrenabaque y de sus principales afluentes andinos. Campañas de octubre de 1999 y diciembre de 1998.

3.3 Distribución del mercurio en los sedimentos

Debido a la composición mineralógica y la heterogeneidad de los sedimentos, hemos optimizado el protocolo de mineralización de los sedimentos haciendo una comparación metodológica con la bibliografía a partir de materiales de referencia de suelos disponibles en el Laboratorio de Calidad Ambiental del IE (UMSA) y comprados al NIST. El material de referencia de Environmental Ressource Associates, no es muy adecuado para el estudio del mercurio ya que la desviación estándar es muy elevada (25,3%.)

Se puede notar que durante la primera fase de análisis, los valores leídos en el LCA, en cada jornada de análisis, son inferiores al valor recomendado (figura 3.5); eso quiere decir que los primeros valores de Hg analizados en los sedimentos pueden ser subestimados.

Para mejorar el método de mineralización de las muestras de sedimentos, hemos conseguido en el Laboratorio de Suelos, de la UMSA-IE, un digestor con recirculación parcial de los vapores de ácido. Se observa que este equipo ha mejorado las digestiones de las muestras de sedimentos (fig. 3.5) ya que los valores leídos entran en el rango de los valores recomendados.

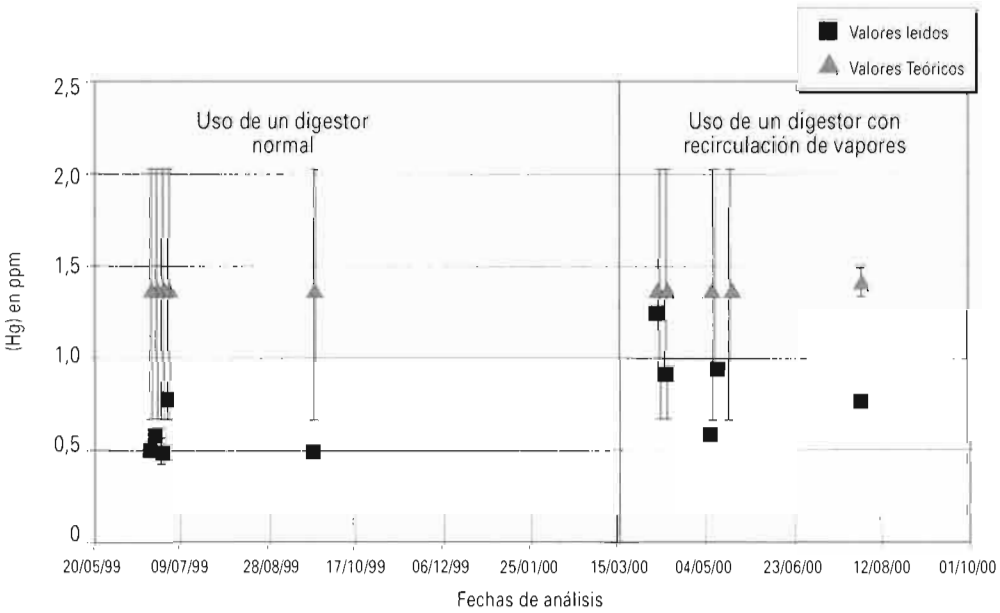


figura 3.5 Calibración de los análisis de mercurio en los sedimentos con lecturas de un material de referencia calibrado (ERA).

Río de muestreo	Fecha de muestreo	Fecha de análisis	Identificación	Conc. Hg (µg/g)	Desv. Estándar (µg/g)
R. Coroico (arriba Guanay)	dic-98	22/06/99	FC1	0,019	0,001
R. Coroico	abr-98	29/06/99	15	0,011	0,016
R. Coroico	feb-00	07/04/00	2.2'	0,19	0,000
R. Coroico	oct-99	07/04/00	1.2'	0,012	0,000
R. Challana	oct-99	07/04/00	7.1'	0,064	0,000
R. Challana	dic-98	22/06/99	FCHA1	0,098	0,009
R. Challana	feb-00	19/05/00	8.2'	0,080	0,000
R. Mapiri	abr-98	25/06/99	12	0,155	0,025
R. Mapiri	dic-98	22/06/99	FMAP	0,025	0,007
R. Mapiri	feb-00	19/05/00	15.1	0,030	0,016
R. Tipuani	ago-95	24/09/99	C4	0,045	0,003
R. Tipuani	oct-99	11/04/00	12'	0,049	0,017
R. Tipuani	abr-98	02/07/99	I1TIP	0,016	0,016
R. Tipuani	déc-98	25/06/99	FTIP1	0,031	0,012
R. Tipuani	feb-00	19/05/00	11.	0,030	0,016
R. K'aka	abr-98	25/06/99	I4	0,088	0,015
R. K'aka	ago-95	24/09/99	C5	0,021	0,006
R. K'aka	oct-99	19/05/00	10.1	0,433	0,000
R. K'aka	dic-98	22/06/99	FK1-1	0,214	0,000
R. K'aka	feb-00	19/05/00	9.2	0,168	0,000
R. Quiquibey	oct-99	07/04/00	6.1'	0,088	0,018
R. Quiquibey	dic-98	22/06/99	FQ1	0,027	0,007
R. Quiquibey	feb-00	07/04/00	3.1'	0,023	0,000
R. Tuichi	oct-99	07/04/00	4.1'	0,041	0,010
R. Tuichi	dic-98	25/06/99	FT1	0,095	0,033
R. Tuichi	feb-00	07/04/00	5.1'	0,296	0,000
R. Apacheta	dic-99	09/05/00	FI1	0,150	0,015
Arroyo Challiri	dic-99	09/05/00	FI2	**35,457**	2,374
R. Challiri	dic-99	09/05/00	FI3.2	**4,944**	0,000
R. La Paz	dic-99	09/05/00	FI4	0,133	0,013
R. Yani	Jun-99	24/09/99	FY1	0,171	0,010
R. Yani	Jun-99	09/05/00	16'	0,194	0,015
R. San Silvestre	May-00	01/08/00	FY2	**1,581**	0,456
R. San Silvestre afluente	May-00	01/08/00	FY3	0,942	0,053
R. San Silvestre	May-00	01/08/00	FY4	**5,695**	0,593
R. Yani arriba R. Ancohuma	May-00	01/08/00	FY5.2	0,322	0,000
R. Yani abajo R. Ancohuma	May-00	01/08/00	FY6	0,124	0,016
R. Beni (Riberalta)	abr-98	24/09/99	I3	0,015	0,003
R. Beni (Rurrenabaque)	abr-98	02/07/99	I1B	0,022	0,015
R. Beni (Rurrenabaque)	dic-98	25/06/99	FB1	0,210	0,066
R. Beni (Rurrenabaque)	feb-00	09/05/00	13'	0,191	0,134
R. Beni (Rurrenabaque)	oct-99	19/05/00	15.1	0,134	0,000
Para comparar					
Limite permisible en Bolivia				**0,80**	
En Brasil					
R. Madeira (Malm et al., 1995)				0,04	
R. Tapajós (Roulet et al., 1998)				0,21	
En los Andes Bolivianos					
R. Zongo, al pie del glaciar (Maurice-Bourgoin, com. personal)				0,001	

Tabla 3.3 Resultados de los análisis de mercurio en las muestras de sedimentos colectados en el marco de los proyectos FONAMA e HiBAm.

Se puede observar que (Tabla 3.3):

- **Los sedimentos de los ríos de las cabeceras andinas están muy contaminados al pie de las minas.** Las concentraciones **sobrepasan hasta 44 veces el limite permisible en Bolivia.**

  Las áreas mucho más contaminadas conciernen a los arroyos localizados al pie de las minas situadas en las faldas de los Andes.

- Los sedimentos de los ríos subandinos explotados por su oro aluvial, es decir Tipuani, Mapiri, excepto el río Kaka, no están tan contaminados como el río Beni, más abajo, en Rurrenabaque.

  Estos resultados se pueden explicar por el régimen hidrológico y la geomorfología de los ríos. En efecto, la pendiente fuerte de los ríos subandinos favorece el transporte aguas abajo de los sedimentos; mientras, al pie del piedemonte, en la zona de Rurrenabaque, la pendiente es mucho más reducida, el lecho del río más ancho, lo que favorece el deposito de los sedimentos. Este depósito es favorecido además por una subsidencia observada en la zona (Baby *et al.*, in press).

- De campañas complementarias realizadas por el IRD en el marco del proyecto HiBAM, se puede observar que **las concentraciones en mercurio aumentan en los sedimentos durante las crecidas** (fig. 3.6), debido al proceso de erosión de los suelos, más fuerte durante la época de lluvias.

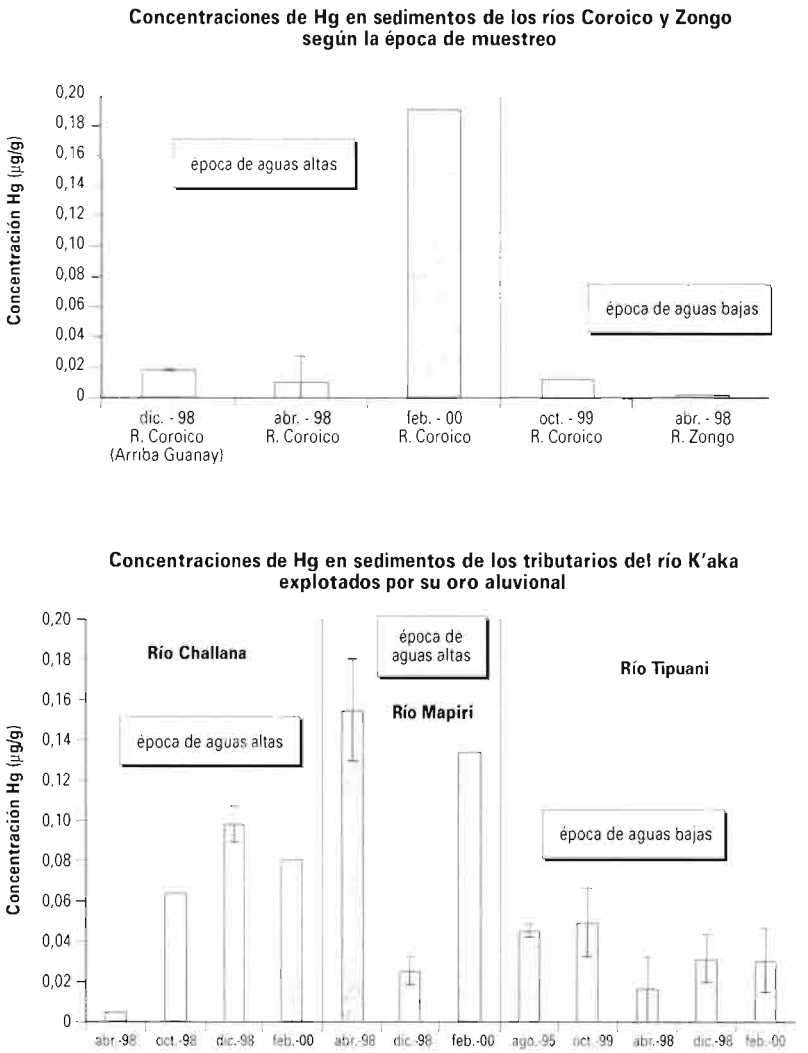
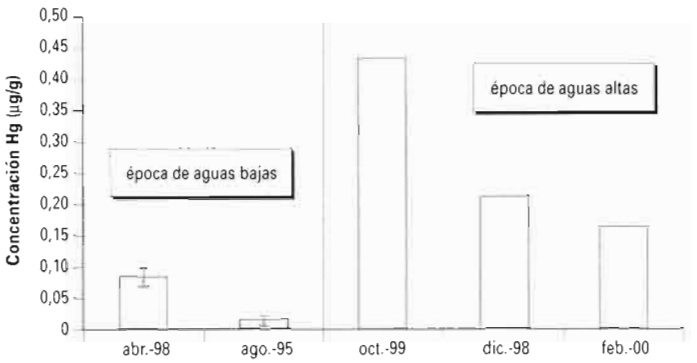
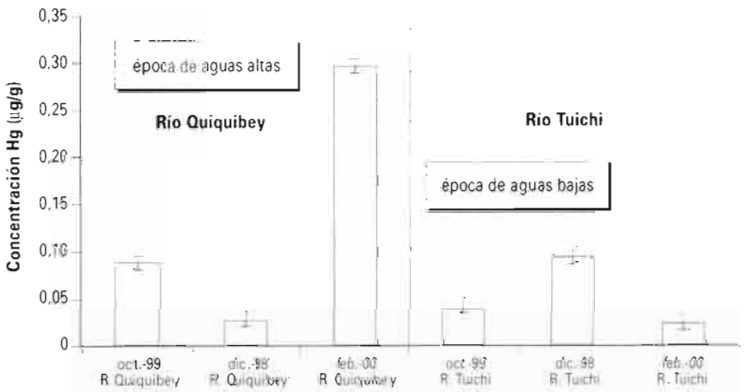


figura 3.6 Resultados de mercurio total en los sedimentos de los ríos de la cuenca del río Beni hasta Rurrenabaque (fechas de colecta entre dic. 1998 y mayo 2000).

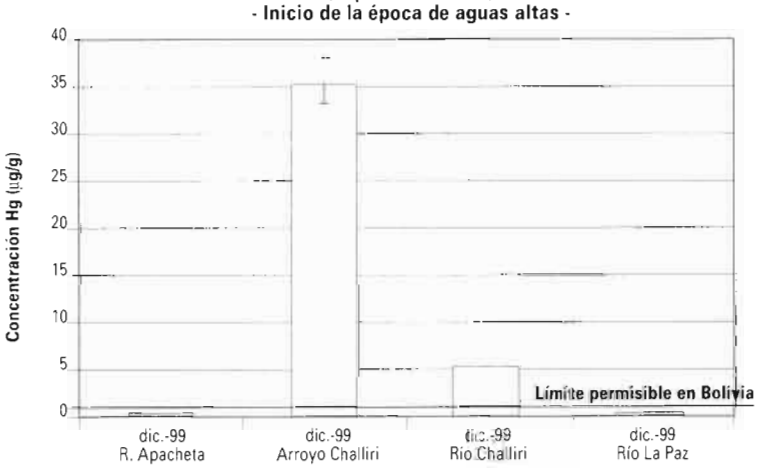
Concentraciones de Hg en sedimentos del río K'aka según la época de muestreo

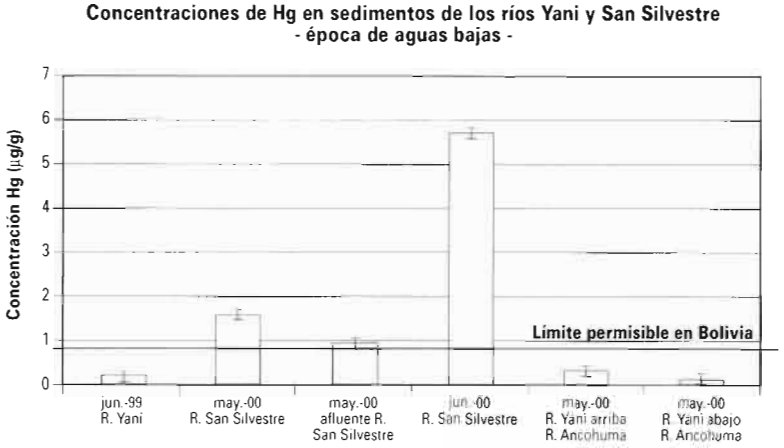


Concentraciones de Hg en sedimentos de los ríos Quiquibey y Tuichi según la época de muestreo



Concentraciones de Hg en sedimentos en la región de Lambate (al pie del Illimani)
- Inicio de la época de aguas altas -





3.4 Distribución del mercurio en los peces

3.4.1 Resultados

Entre noviembre de 1996 y octubre de 1999, 92 muestras de peces pertenecientes a 24 especies, con hábitat y dieta alimentaria diferentes, fueron colectados en el río Beni y algunas de sus lagunas, hasta 40 km aguas abajo de Rurrenabaque.

Los resultados de las concentraciones de mercurio total por especie están presentados en la tabla 3.4 y representados en el gráfico 3.7.

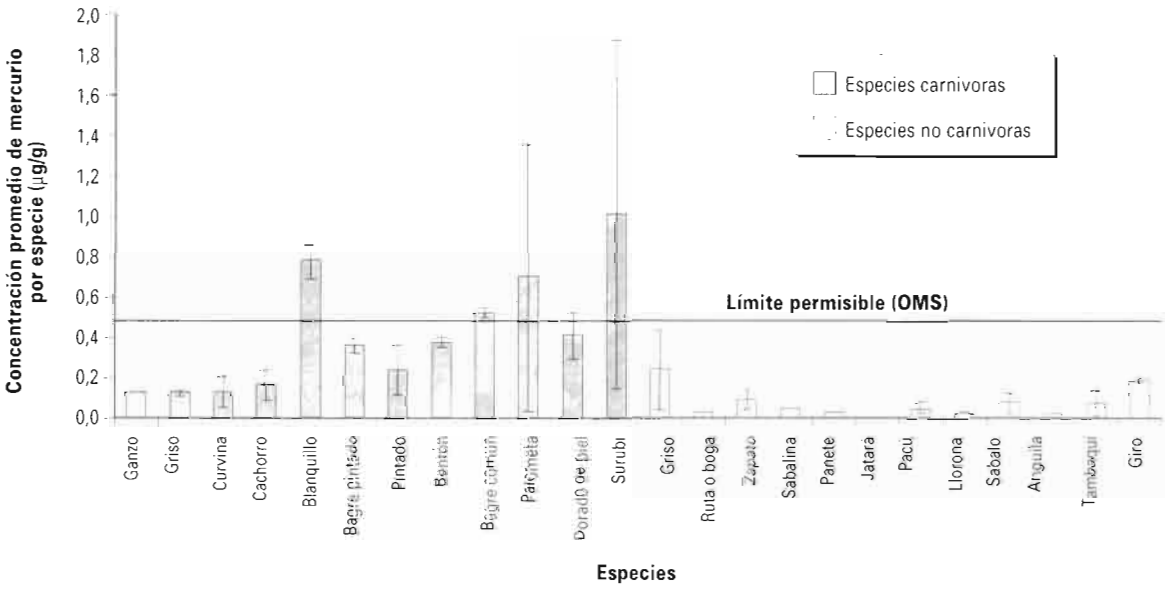


figura 3.7 Concentración promedio de mercurio total en peces carnívoros y no carnívoros colectados durante las campañas realizadas entre noviembre 1996 y octubre 1999. Las desviaciones estándar son representativas del rango de concentraciones obtenido en varias muestras de la misma especie (con pesos diferentes).

Especies piscívoras

Las especies piscívoras son llamadas así por tener una dieta alimentaria constituida exclusivamente de peces. Las especies estudiadas son: Brachyplatystoma *flavicans* (dorado de piel), Pseudoplatystoma *fasciatum* (pintado), Leiarius *marmoratus* (bagre pintado) y Paulicea *lutkini* (bagre común).

La concentración promedio de mercurio total analizada en los filetes varia entre 0,21 $\mu g.g^{-1}$ de peso húmedo (cv:2,3%) y 1,48 $\mu g.g^{-1}$ (cv:2,0%).

Se puede observar que 78% de la especies piscívoras están contaminadas, rebasando el valor de 0,5 $\mu g.g^{-1}$ recomendado por la OMS. Las especies las más contaminadas son: Brachyplatystoma *flavicans* (dorado de piel), Pseudoplatystoma *fasciatum* (pintado) y Paulicea *lutkini* (bagre común). Todos ellos fueron colectados sobre el lecho del Río Beni y en Puerto Salinas. La especie más contaminada, Brachyplatystoma *flavicans* (dorado de piel) sobrepasa hasta 1,9 veces el límite permisible de la OMS.

Especies carnívoras

Los peces carnívoros, denominados así por alimentarse de peces pero también de otros organismos vivos, presentan también un importante contenido de mercurio. Los resultados de los análisis correspondientes muestran concentraciones de mercurio promedio mínimo y máximo de 0,01 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 18,7%) y 2,30 $\mu g.g^{-1}$ (cv:2,0%) respectivamente. Las especies estudiadas son: Hoplias *malabaricus* (bentón), Plagioscion *squamosissimus* (curvina), Ageneiosus *dentatus* (ganzo), Pseudoplatystoma *tigrinum* (surubí), y Pygocentrus *nattereri* (palometa).

Entre las 5 especies encontradas, las más contaminadas son: Pseudoplatystoma *tigrinum* (surubí) y Pygocentrus *nattereri* (palometa). La primera especie corresponde a una colecta realizada en el río Beni y

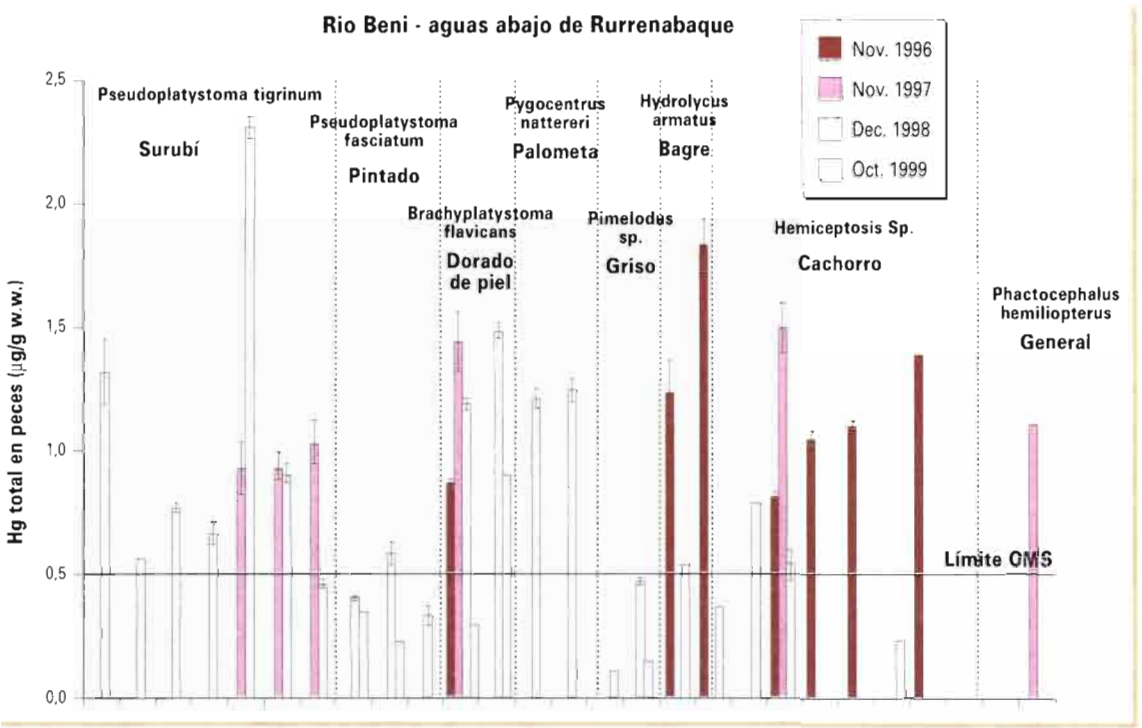


figura 3.8 Concentración de mercurio analizado en especies de peces carnívoras y piscívoras, colectadas en el río Beni, aguas abajo de Rurrenabaque.

Origen de la muestra	Familia	Nombre científico de la especie (nombre común)	N	Hábitat alimentario	Rango de peso (g)	Rango de long. estándar (cm)	Rango de conc. de Hg (µgg-1)	Porcentaje de error
Río Beni(Limón)	**Sciaenidae**	*Plagioscian squamosissimus* **(curvina)**	2	C	200-260	21-25	0,07 - 0,08	10,1% -1,3%
Río Beni(Limón)	**Erythrinidae**	*Hoplias malabaricus* **(bentón)**	5	C	250-834	24-34	0,08 - 0,18	0,5% -2,2%
Río Beni(Salinas)	**Pimelodidae**	*Brachyplatystoma flavicans* **(dorado de piel)**	4	P	1190-19300	98-1035	0,29 - **1,48**	3,2% - 2,0%
Río Beni y Salinas		*Pseudoplataystoma fasciatum* **(pintado)**	5	P	200-10400	59-114	0,22 - **0,58**	2,3% - 7,3%
Río Beni(Salinas)		*Pimelodina flavipinnis* **(blanquillo)**	1	P-O	1550	51	**0,78**	7,5%
Río Beni(Salinas)		*Leiarius marmoratus* **(bagre pintado)**	1	P	1775	51	0,36	1,7%
Río Beni(Salinas)		*Paulicea Lutkini* **(bagre común)**	1	P	9850	86	**0,53**	2,9%
Río Beni, Lago Moa		*Pseudoplatystoma tigrinum* **(surubí)**	5	C	10400-16300	98-1035	**0,66 - 2,30**	6,8% - 2,0%
Río Beni		*Pygocentrus nattereri* **(palometa)**	3	C	866-1200	28	0,01- **1,23**	18,7% - 3,8%
Río Beni(Limón)		*Pimelodus maculatus blochii* **(griso)**	3	O	125-260	21-24	0,10 - 0,47	8,9% - 2,3%
Río Beni (Salinas)	**Serrasalmidae**	*Colossoma brachypomum* **(pacú)**	6	H	2400-11950	44-77	0,02 - 0,15	7,4% - 5,8%
Río Beni (Limón), Río Beni		*Mylossoma duriventre* **(jatara)**	7	H	160-1175	18-31	0,01 - 0,09	10,0% - 4,5%
Lago Moa		*Colossoma macropomum* **(tambaqui)**	3	H	2670-5200	36-58	0,01 - 0,15	10,3% - 5,3%
Río Beni (Limón)	**Ageneiosidae**	*Ageneiosus dentatus* **(ganzo)**	1	C	160	25	0,13	1,8%
Río Beni (Limón)	**Auchenipteridae**	*Auchenipterus nuchalis* **(griso)**	1	P-O	200	24	0,12	11,1%
Río Beni (Limón)	**Characidae**	*Rhaphiodon vulpinus* **(cachorro)**	1	P-O	960	40	0,22	3,6%
Río Beni (Limón)		*Triportheus angulatus* **(panete)**	4	O	80-210	15-23	0,05 - 0,08	4,3% - 2,8%
Río Beni	**Hydrolicus**	*Armatus ou scomberoides* **(cachorro)**	1	P-O	3900	86	**0,53**	10,3%
Río Beni (Limón, Salinas)	**Anostomidae**	*Schizodon fasciatum* **(ruta o boga)**	3	H	150-200	20-23	0,03 - 0,04	15,7% - 5,1%
Río Beni(Salinas), lago Moa	**Curimatidae**	*Prochilodus nigricans* **(sábalo)**	8	H-S	120-1830	33-43	0,02 - 0,17	1,9% - 1,3%
Río Beni(Limón)		*Igenmannina melanopogon* **(sabalina)**	1	O	350	31	0,05	17,2%
Río Beni (Limón)	**Sternopygidae**	*Sternopigus sp.* **(anguila)**	1	O	210	39	0,14	4,3%
Río Beni(Limón)	**Gymnotidae**	*Gymnotus carapo* **(anguila)**	1	I	225	38	0,08	3,1%
Río Beni(Salinas)	**Loririidae**	*Pterygoplichtys multiradiatus* **(zapato)**	3	S	415-610	30-290	0,01 - 0,03	5,1% - 20,5%
Río Beni		*Brychon sp.* **(llorona)**	1	O	829	30	0,03	0,6%
Río Beni	**Doradidae**	*Oxydoras niger* **(giro)**	1	O	4200	68	0,19	3,3%
Límite OMS							**0,5**	

P: piscívoro **C:** carnívoro **O:** omnívoro **H:** herbívoro **I:** insectívoro **S:** sedimentófago

Tabla 3.4 Concentración de mercurio total en peces, por especie, colectados durante las campañas realizadas entre nov. 96 y oct. 99 (las concentraciones de mercurio están expresadas en µg/g de peso húmedo y el rango de porcentaje de error corresponde a la desviación estándar de los valores mínimo y máximo de Hg total).

otra en la laguna Moa. **El 65% de las especies carnívoras colectadas está contaminado**, es decir sobrepasan el valor de 0,5 $\mu g.g^{-1}$ recomendado por la OMS.

Se puede observar que 72% **de los peces piscívoros y carnívoros colectados en el río Beni, aguas abajo de Rurrenabaque están contaminados por mercurio** (figura 3.8).

Especies piscívoro-omnívoras

Estos peces pueden variar su hábitat alimentario; unas veces se alimentan de peces y otras veces de algas, sedimentos o frutas. Las concentraciones promedio de mercurio total mínima y máxima son de 0,11 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 15,7%) y 0,78 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 10,7%) respectivamente. Entre ellas se encuentran: Pimelodina *flavipinnis* (blanquillo), Auchenipterus *nuchalis* (griso), Rhaphiodon *vulpinis* (cachorro) y Armatus *scomberoides* (cachorro).

De las especies piscívora-omnívoras colectadas, el 50% está contaminado. Corresponden a las especies Pimelodina *flavipinnis* (blanquillo) y Armatus *scomberoides* (cachorro), pescadas en el lecho del río Beni y en Puerto Salinas.

Especies omnívoras

El 15% de estas especies, respecto al total colectado, presenta un contenido promedio de mercurio mínimo de 0,03 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 0,5%) y máximo de 0,47 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 2,3%). Sus lugares de pesca corresponden al lugar del lecho del río Beni denominado Limón; las especies estudiadas son: Pimelodus *maculatus blochii* (griso), Triportheus *angulatus* (panete), Igenmannina *melanopogon* (sabalina) y Stermopigus *sp.* (anguila).

Ninguna de estas especies colectadas está contaminada.

Especies insectívoras

Estos peces se alimentan preferentemente de insectos; contienen un promedio de 0,08 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 5,1%) en concentración de mercurio total. Una sola especie fue colectada sobre el río Beni (Limón), es el Gymnotus *carapo* (anguila).

Especies herbívoras

Los peces herbívoros son denominados así por alimentarse de algas, frutas y otros similares. Presentaron 0,01 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 10,3%) como concentración mínima y 0,15 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 5,8%) como concentración máxima promedio de mercurio total. Se han analizado las siguientes especies: Colossoma *brachypomum* (pacú), Colossoma *macropomum* (tambaqui) y Mylossoma *duriventre* (jatara).

Especies herbívoras - sedimentófagas

Presentan 0,02 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 1,9%) y 0,2 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 1,3%) como concentraciones mínima y máxima respectivamente en concentración promedio de mercurio. Entre ellas, fue estudiado la especie Prochilodus *nigricans* (sábalo), colectado sobre el río Beni (en Salinas) y en la laguna Moa.

Especies sedimentófagas

Se tiene tres ejemplares de una especie sedimentófaga, el Pterygoplichtys *multiradiatus* (zapato). Dieron un resultado mínimo y máximo de 0,01 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 5,1%) y 0,03 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 20,5%) en concentración promedio de mercutio total; fueron colectados en el río Beni abajo de Rurrenabaque y en Puerto Salinas.

Ninguna de las especies omnívoras, herbívoras, herbívora-sedimentófagas, sedimentófagas e insectívoras colectadas en el río Beni se encuentra contaminada por mercurio (fig. 3.9).

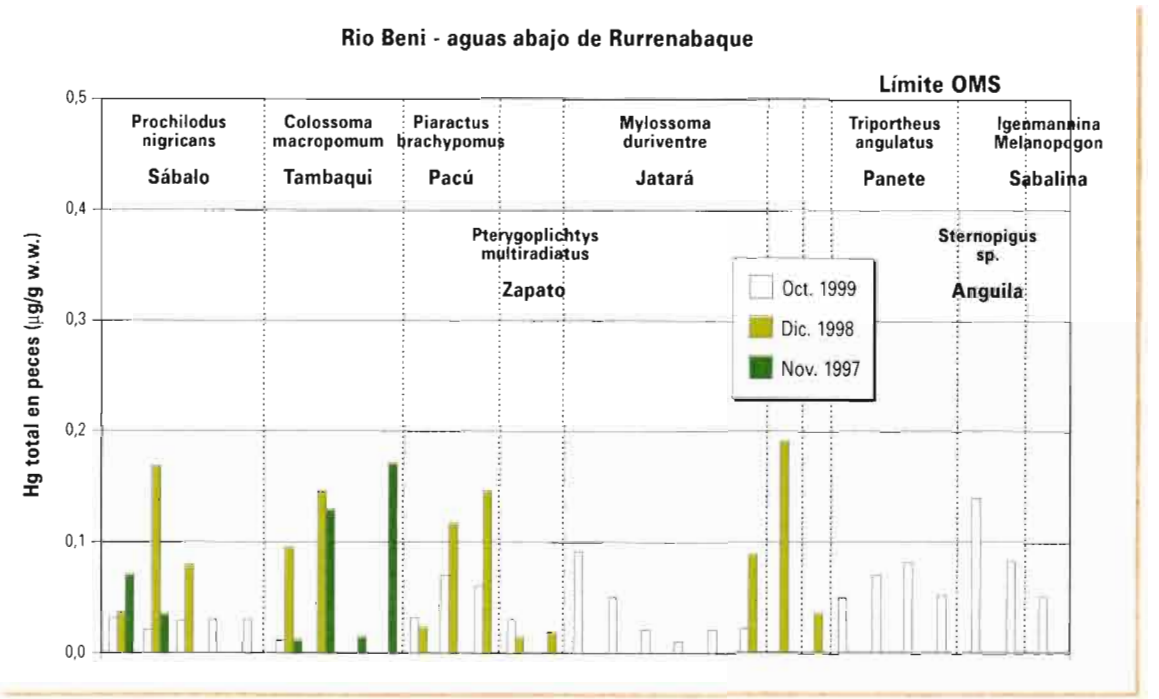


figura 3.9 Concentración de mercurio analizado en especies de peces omnívoras, herbívoras, sedimentófagas e insectívoras, colectadas en el río Beni, aguas abajo de Rurrenabaque.

3.4.2 Discusión

El estudio de la contaminación en peces y poblaciones ribereñas y mineras, en el marco del proyecto FONAMA/IRD/UMSA, fue el objeto de una tesis de licenciatura (Alanoca, 2001) a la cual se puede referir para más detalles.

A las especies piscívoras, carnívoras y piscívora-omnívoras llamaremos convencionalmente *carnívoras* y a las demás especies (omnívoras, insectívoras, herbívoras, y sedimentófagas) como *no carnívoras.*

En las especies carnívoras

Las concentraciones de mercurio total en especies de peces carnívoras están en general elevadas y en 4 especies comunes sobrepasan el límite permisible OMS de 0,5 $\mu g.g^{-1}$ (gráfico 3.10).

Entre las especies *carnívoras* contaminadas encontramos al surubí (Pseudoplatystoma *tigrinum*), blanquillo (Pimelodina *flavipinnis*), palometa (Pygocentrus *nattereri*), bagre común (Paulicea *lutkini*) y dorado de piel (Brachyplatystoma *flavicans*). Analizaremos como influyen el peso correspondiente a las diferentes muestras de cada especie, el lugar y ecosistema donde fueron colectados, el hábitat alimentario y la migratoriedad.

Respecto al peso, no se puede observar por especie, una relación simple entre las concentraciones en mercurio y el peso total de los peces (fig. 3.11, 3.12 y 3.13).

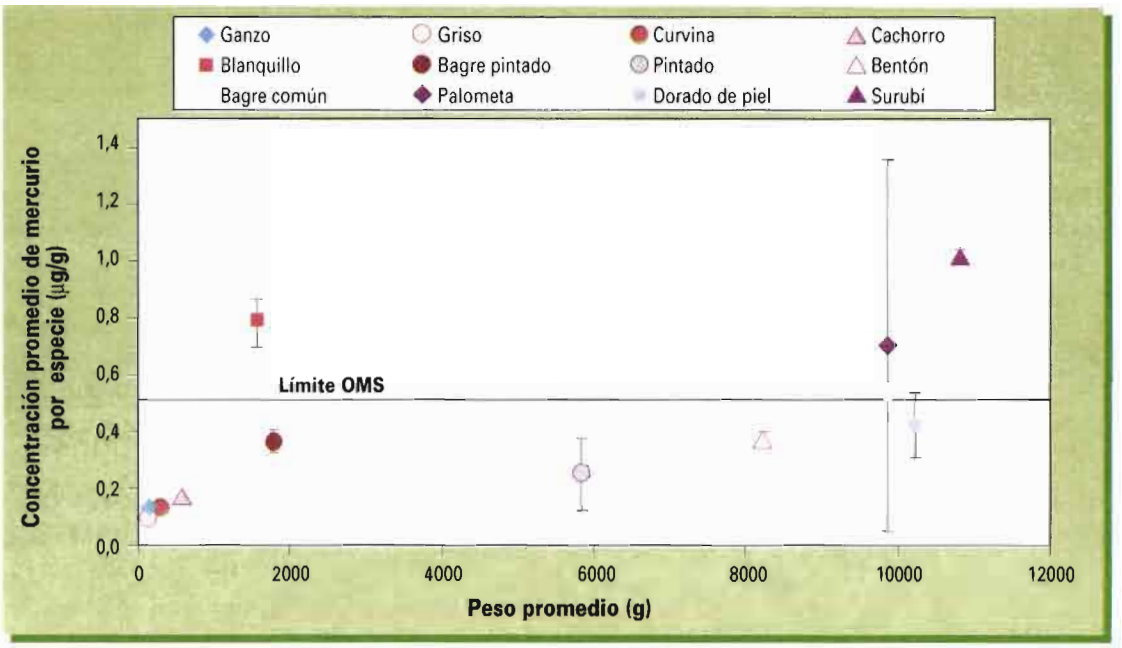


figura 3.10 Valor promedio de la concentración de mercurio total en peces carnívoros respecto al peso promedio de cada especie colectada. Campañas Diciembre de 1998 y Octubre de 1999.

La especie carnívora Pseudoplatystoma *tigrinum* (surubí) se alimenta básicamente de peces y emprende migraciones tróficas de varias centenas de kilómetros hacia lugares tranquilos con fines reproductivos.

De los ejemplares colectados pertenecientes a esta especie, todos se encuentran contaminados, pero el ejemplar con más contenido de mercurio fue el colectado en la laguna Moa, durante la época de aguas altas (gráfico 3.11).

El motivo por el que este pez presenta un alto contenido de mercurio se debe básicamente al lugar donde fue colectado. En efecto, se supone que los procesos de metilación y de biomagnificación del mercurio son favorecidos en la laguna Moa.

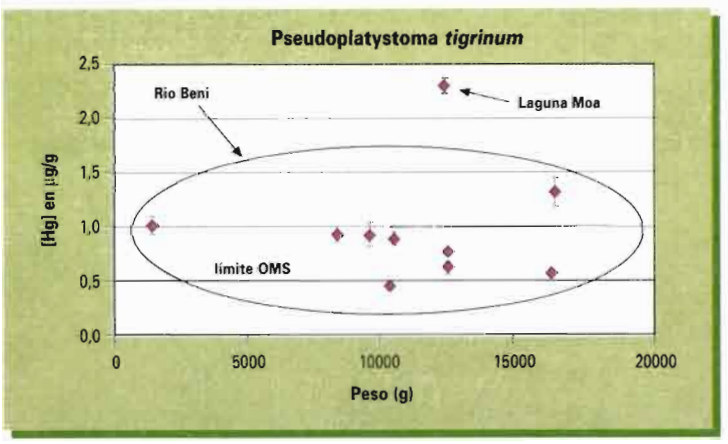


figura 3.11 Concentración de mercurio total en la especie Pseudoplatystoma *tigrinum* (surubí) respecto al peso.

Pseudoplastytoma *tigrinum*
Foto: Ferreira et al., 1998

Siendo todos los peces de esta especie de gran tamaño, con respecto al peso de las demás especies y el hábitat alimentario, podemos decir que se tiene un producto de bioacumulación y biomagnificación del mercurio en la cadena trófica acuática del río Beni y sobre todo de sus lagunas.

La palometa, de nombre científico Pygocentrus *nattereri*, es otra de las especies más contaminadas; prácticamente esta especie se alimenta de todo organismo vivo. El alto contenido de mercurio en los dos ejemplares encontrados se debe al hábitat alimentario propio de cada uno, puesto que fueron pescados en el río Beni.

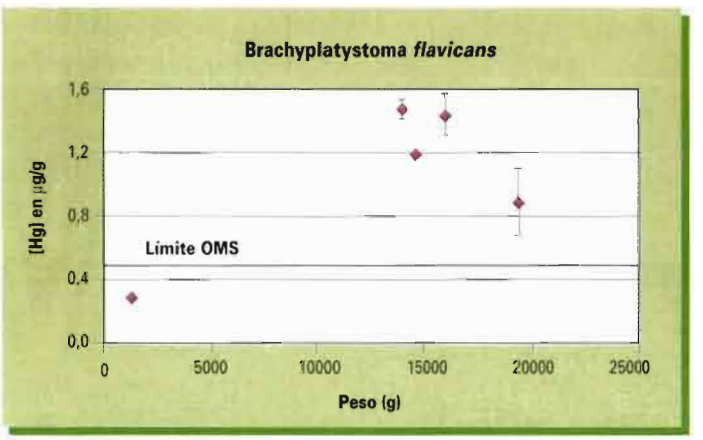


figura 3.12 Concentración de mercurio total en la especie Brachyplastystoma *flavicans* (dorado de piel) respecto al peso.

El dorado de piel, o Brachyplastystoma *flavicans*, es otra de las especies con alto contenido de mercurio. Perteneciente también a la familia Pimelodidae, se alimenta de peces y vive en el lecho de los ríos.

Los ejemplares de peces más contaminados fueron colectados en el río Beni (gráfico 3.12), en época de aguas altas en la cual el contenido de mercurio total en las aguas del río Beni es alto (Maurice-Bourgoin L. *et al.*, 2000b).

El Pintado, ó Pseudoplatystoma *fasciatum*, es otra de las especies más contaminadas de la familia Pimelodidae. De hábitat alimentario piscívoro, migra río arriba en la época de desove. Son peces de gran tamaño y de los cinco ejemplares colectados uno se encuentra contaminado, debido seguramente a su hábitat alimentario. No se puede observar un incremento del contenido en mercurio con el peso (gráfico 3.13).

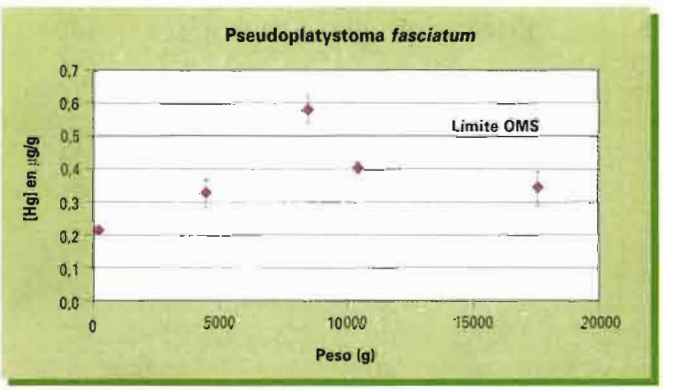


figura 3.13 Concentración de mercurio total en la especie Pseudoplatystoma *fasciatum* (pintado) respecto al peso.

En las especies no carnívoras

En el gráfico 3.14 se muestran las concentraciones promedios de mercurio (con sus desviaciones estándar) por especie, respecto al peso.

Entre las especies no carnívoras (gráfico 3.14), ninguna de ellas se encuentra contaminada. Esto se debe a su hábitat alimentario (algas, sedimentos y frutas). Algunas de las especies no carnívoras sirven de alimento a las especies carnívoras.

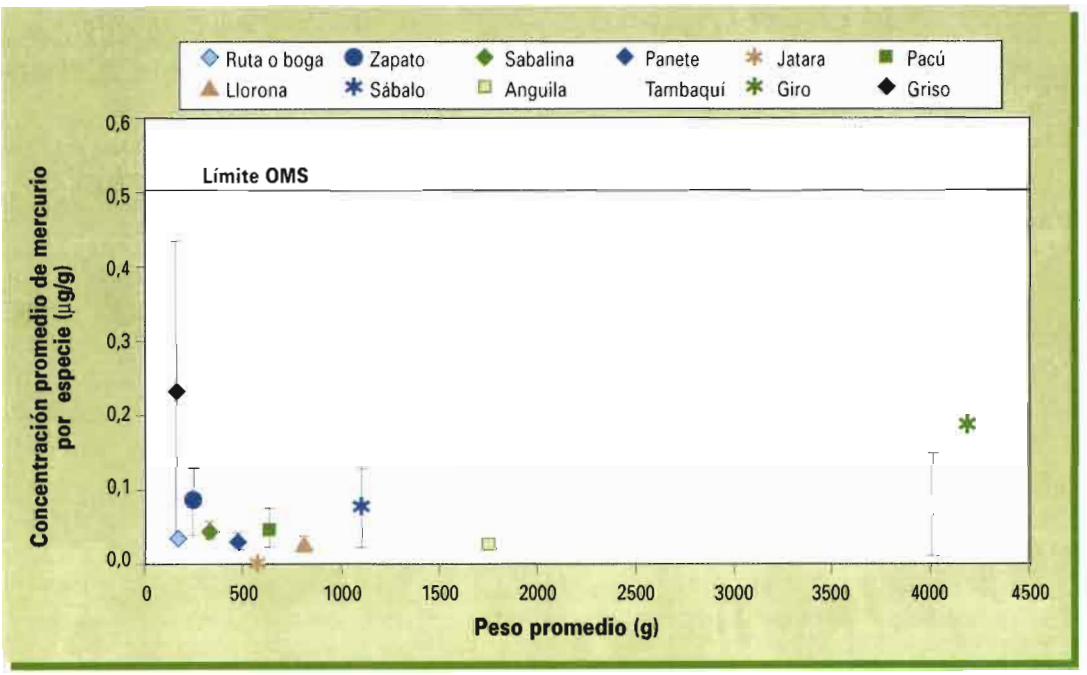


figura 3.14 Valor promedio de la concentración de mercurio total en peces no carnívoros respecto al peso promedio de cada especie.

Sin embargo, como se ve en el gráfico 3.15, unos peces no carnívoros también pueden experimentar una bioacumulación del mercurio en sus organismo pero no es el caso de todos (fig. 3.16). Parece que el lugar de vida de las especies de peces omnívoros influye más en su contaminación por mercurio que sus pesos.

figura 3.15 Concentración de mercurio total en las especies Mylossoma *duriventre* (jatara) y Colossoma *macropomum* (tambaqui) respecto al peso.

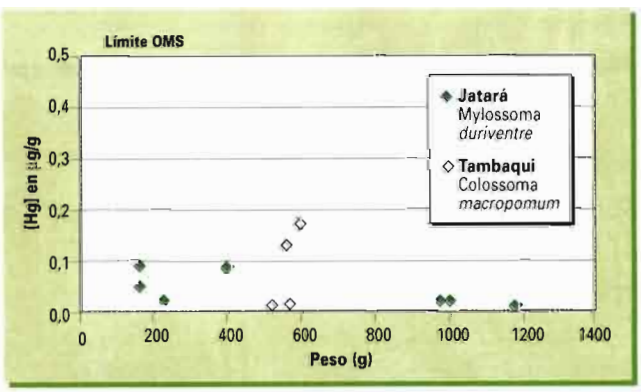
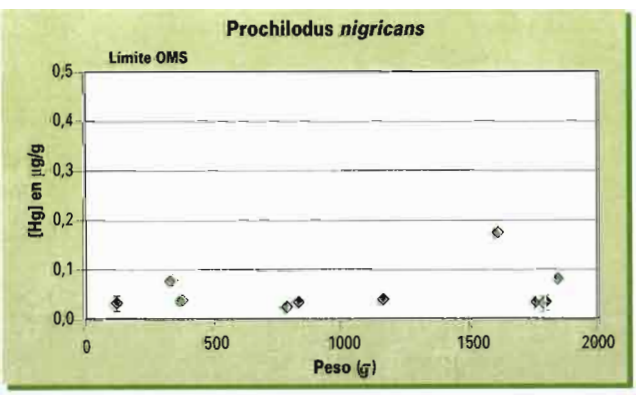


figura 3.16 Concentración de mercurio total en la especie Prochilodus *nigricans* (sábalo) respecto al peso.



Como se ha visto, **el hábitat alimentario, la migratoriedad o el establecimiento en un solo lugar de los peces, juega un papel muy importante para sus diagnósticos.**

En tibétain, "être humain" se dit a-Gro ba, "celui qui part", "celui qui migre".
En tibetano, "ser humano" se dice "el que se va", "el que migra".

4- Impacto sobre las poblaciones ribereñas

De todos los datos obtenidos, 150 en total, las concentraciones de mercurio total analizado en los cabellos de ribereños de los ríos Yani, Beni y K'aka, de varios ámbitos geográficos, difieren sobre todo en función de sus profesiones y de sus prácticas alimentarias.

Hemos analizado preferentemente las poblaciones con mayor riesgo de contaminación por mercurio, es decir: los mineros que manipulan el mercurio regularmente, los ribereños de los ríos explotados y aguas abajo, las personas que viven de la pesca y que consumen regularmente los peces del río Beni.

4.1 Sobre las poblaciones mineras

Dentro de la población minera, se puede identificar tres grupos de diferentes regiones: de Guanay, del Illimani y de Yani, en los que las concentraciones de mercurio en sus cabellos están por debajo del inicio de riesgo de contaminación recomendado por la OMS (gráfico 4.1).

El mercurio ingresa en los mineros por la vía respiratoria y por las manos cuando lo manipulan sin precaución. Los resultados débiles se explican por el hecho de que el mercurio inorgánico inhalado por los mineros, a lo cual están expuestos, es eliminado poco a poco por la vía urinaria, es decir que no circula por la sangre lo que explica que no se detectó en los cabellos. No colectamos muestras de orina en mineros debido a la delicadeza que implica el tener que hacerlo, ya que la mayoría de ellos son varones.

Cabe destacar que existen diferencias entre el contenido de uno a otro grupo según la forma en la cual utilizan la técnica de la amalgamación y de quema del amalgama para la recuperación del oro (fig. 4.1).

Los mineros de la zona de Guanay, que trabajan en los aluviones de los ríos Tipuani y Kaka, y la población minera de Teoponte presentaron concentraciones de mercurio total en los cabellos incluidas entre el valor límite detectable por el equipo de absorción atómica (0,001 $\mu g.g^{-1}$) y 1,87 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 4,0%), con un caso excepcional de una anciana de 75 años de edad, en la que se encontró una concentración promedio de 28,61 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 15,3%) de mercurio.

A pesar de las recomendaciones que ya conocen, estos mineros prefieren realizar la amalgamación con las manos sin protección alguna. Esta población ya tiene conocimiento de la técnica de recuperación de mercurio por retortas (Proyecto MEDMIN COSUDE), consideran sin embargo poca utilidad del mercurio recuperado y mucho tiempo perdido. No quedando aun el oro libre de mercurio después de la retorta, es quemado al aire libre sin protección alguna, ni para ellos, ni para el aire ambiental.

La población minera en la zona de Yani (en las cabeceras andinas del río Tipuani) presenta concentraciones promedio de mercurio en sus cabellos, incluidas entre el valor límite de detección del equipo y 0,94 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 1,1%). Este grupo también tiene conocimiento de la técnica de recuperación de mercurio por retorta, pero antes de su conocimiento, la mayoría de ellos inhalaron mercurio metálico en forma de vapor durante la quema del

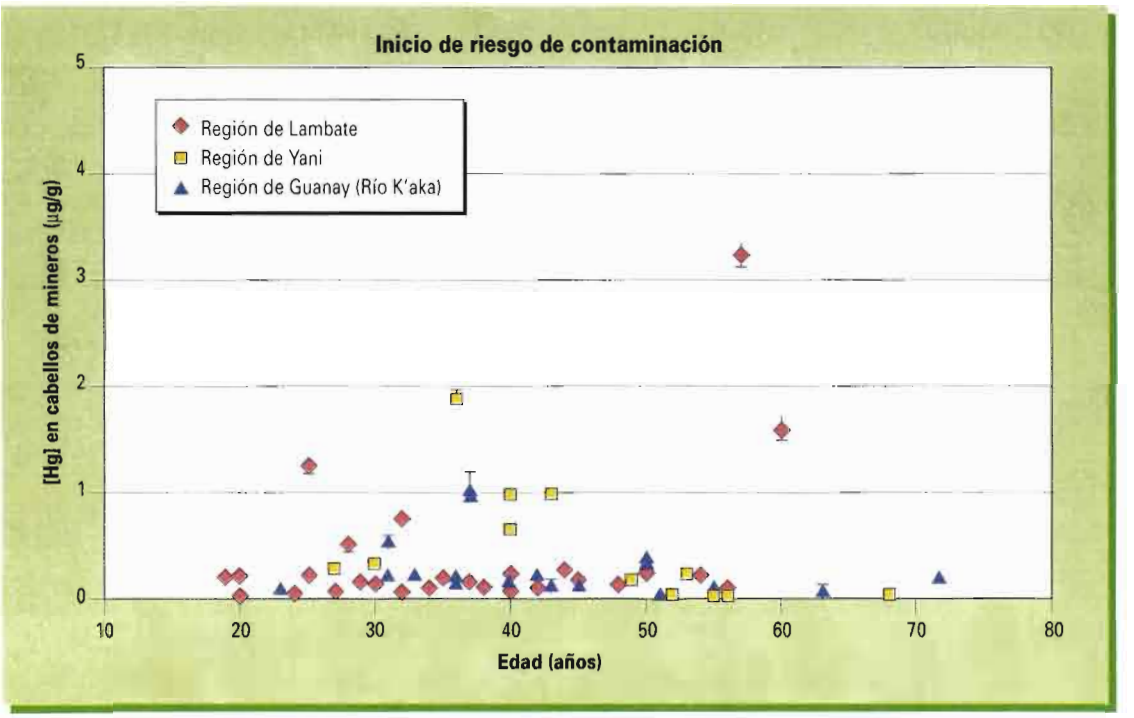


figura 4.1 Concentración de mercurio total en cabellos de mineros de las zonas de Guanay, Yani e Illimani.

amalgama y por muchos años realizaron la amalgamación con las manos, lo que indica que el mercurio se encuentra presente en sus organismos en formas inorgánicas, y esta eliminado en parte, por las vías urinarias.

Los mineros del sector del Illimani, al contrario de los mineros de Yani y Guanay, no tienen conocimiento de las retortas, ni de los cuidados que se debe tener al realizar la amalgamación y la quema de la amalgama. Realizan la amalgamación con las manos desde muy jóvenes (ver foto) y la quema es practicada dentro de ambientes cerrados, en sus casas generalmente, junto a sus familias, debido al clima frígido y al carácter desconfiado propio de la población Aymara. Suelen esconderse dentro de sus casas de tal forma que ni los vecinos más cercanos puedan participar al proceso de quema de la amalgama de oro con mercurio. Estas observaciones explican por que esos mineros presentan mayor concentración promedio de mercurio en sus cabellos (mínima de 0,02 $\mu g.g^{-1}$; cv: 35,2% y máxima de 3,2 $\mu g.g^{-1}$; cv: 3,7%) comparando con los grupos anteriores de Guanay y Yani.

Mezcla a mano de sedimentos y rocas con mercurio, en la mina Pentecostés (región de Lambate). *Foto: L. Maurice-B.*

Patologías	Discromías de dientes	Gingivitis	Bronquitis	Colecistis
% de mineros afectados	23,7%	11,0%	8,4%	7,5%

Tabla 4.1 Patologías detectadas en las poblaciones mineras de las zonas de explotación aurífera de Guanay, de Lambate y de Yani.

En referencia a los informes médicos (Rodrigo, 2000), los mineros examinados con exposición laboral directa al mercurio presentaron diferentes sintomatologías resumidas en la siguiente tabla.

4.2 Sobre las poblaciones ribereñas (río Beni)

Fueron estudiadas diferentes familias de dos clases de población ribereña del río Beni:

- los agricultores, ubicados aguas arriba y aguas abajo de Rurrenabaque, dedicados a cultivar sus tierras y a la actividad de la pesca durante su tiempo libre, y
- los pescadores, habitantes de San Buenaventura y Rurrenabaque.

El rango de concentración de mercurio total en los cabellos de los pobladores ribereños del río Beni es de 1,1 - 13,5 $\mu g.g^{-1}$.

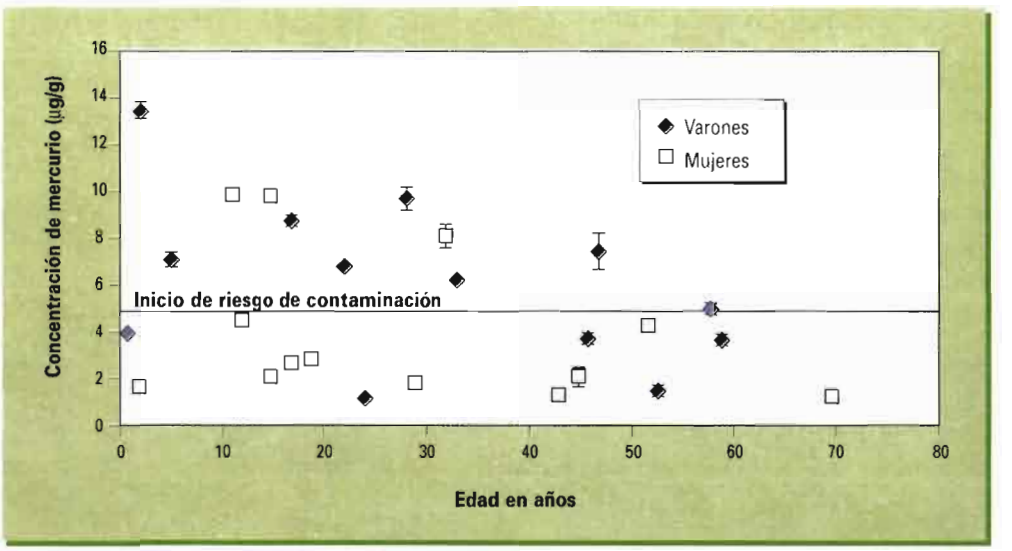


figura 4.2 Concentración de mercurio total en cabellos de pobladores ribereños del río Beni respecto a su edad y sexo. Campañas dic. 98 y oct. 99.

Del total de la población ribereña del río Beni estudiada en la zona de Rurrenabaque, el 40,7% se encuentra contaminada (figura 4.2).

4.2.1 Los agricultores de las riberas del río Beni

Se dedican a cultivar la tierra para su propio consumo y por la venta de sus productos; aprovechan también un poco de la pesca durante la época seca. Recalcamos que este grupo es el segundo con mayor contenido

de mercurio en sus cabellos (gráfico 4.3) con concentraciones en cabellos incluidas entre 1,1 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 2,5%) y 13,5 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 2,5%).

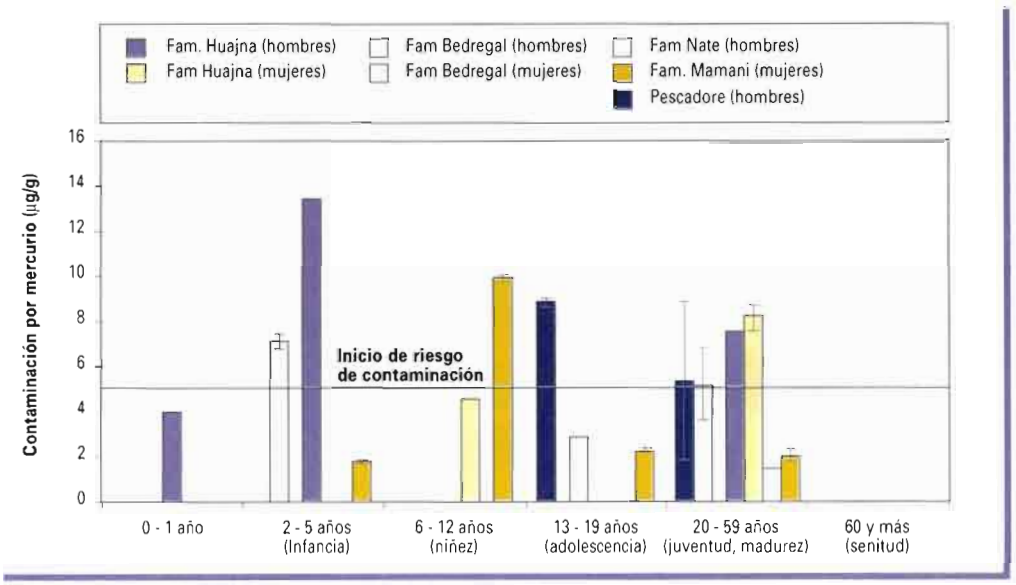


figura 4.3 Concentración de mercurio total en cabellos de pobladores ribereños del río Beni respecto al rango de edad. Campañas dic. 98 y oct. 99.

4.2.2 Los pescadores y consumidores de peces

En los pescadores, el rango de concentración oscila entre 1,5 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 4,4%) y 9,8 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 4,9%).

En la población ribereña de San Juanito Puerto Yumani hemos esrudio en particular la familia Huajna

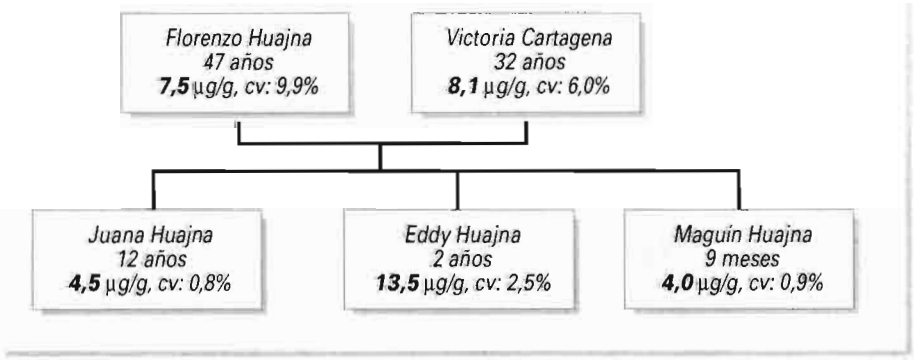


figura 4.4 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Huajna Cartagena (población San Juanito - Puerto Yumani, Río Beni).

(figura 4.4). En esta familia, el bebé de 9 meses de edad presenta una concentración de mercurio muy fuerte para su edad, seguido por un hermano de 2 años de edad en el que la concentración de mercurio en sus cabellos es 2,7 veces mayor que el valor permitido por la OMS (5 $\mu g.g^{-1}$).

Los padres de estos niños también están contaminados, la madre más que el padre. Considerando que los bebes aún no se alimentan de peces u otros alimentos, la única forma como pudo ingresar el mercurio en sus organismos es mediante la sangre de la madre durante de la etapa de gestación (Barbosa y Dórea, 1998).

Arriba de Rurrenabaque se encuentran dos familias ribereñas, la familia Nate (Serranía Charque) y la familia Mamani (Rial Beni). En la primera familia una joven mujer se encuentra contaminada por mercurio debido a su alimentación basada en pescados con preferencia, mientras que los demás miembros tienen bajos contenidos de mercurio.

En la familia Mamani (ver árbol genealógico, fig. 4.5) hemos identificado también a una niña de 11 años contaminada por mercurio. Al igual que su madre y abuela, la infante de 2 años de edad tiene casi la misma concentración de mercurio en sus cabellos sin estar contaminada, sin embargo el contenido de mercurio sigue alto para su edad.

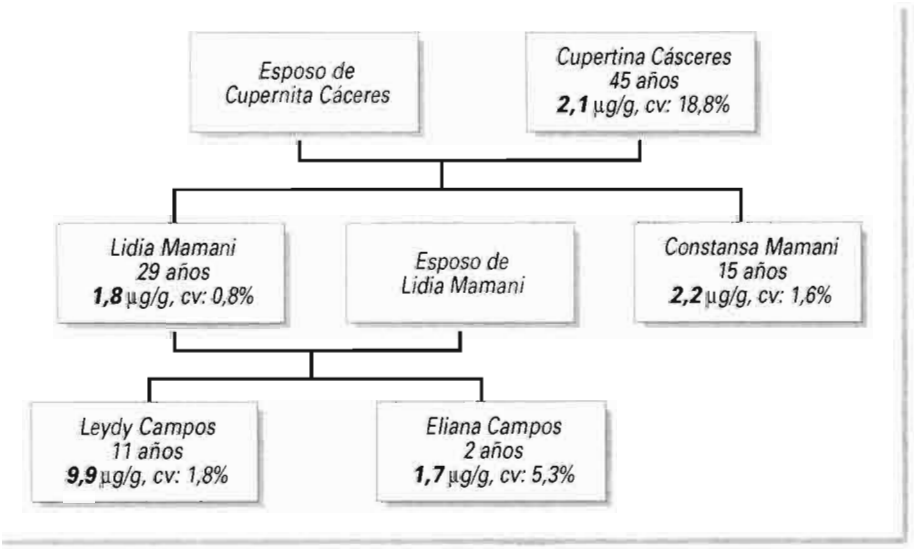


figura 4.5 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Mamani Cáceres (población: Rial Beni, Río Beni).

En la familia Bedregal (gráfico 4.6), asentados en la población de Rurrenabaque, son los niños de la ultima generación que tienen mayores contenidos de mercurio, siendo el caso preocupante de un niño de 5 años de edad y una adolescente de 14 años que presenta una concentración de mercurio en sus cabellos muy preocupante de 19,4 $\mu g.g^{-1}$ (Maurice-Bourgoin *et al.*, 1999a); ella consume únicamente pescado del río Beni ya que no le gusta otro tipo de carne. En esta familia, los hijos se dedican principalmente a la actividad de la pesca ya que los padres son propietarios de un restaurante, en la orilla del río Beni, especializado en comidas de pescado.

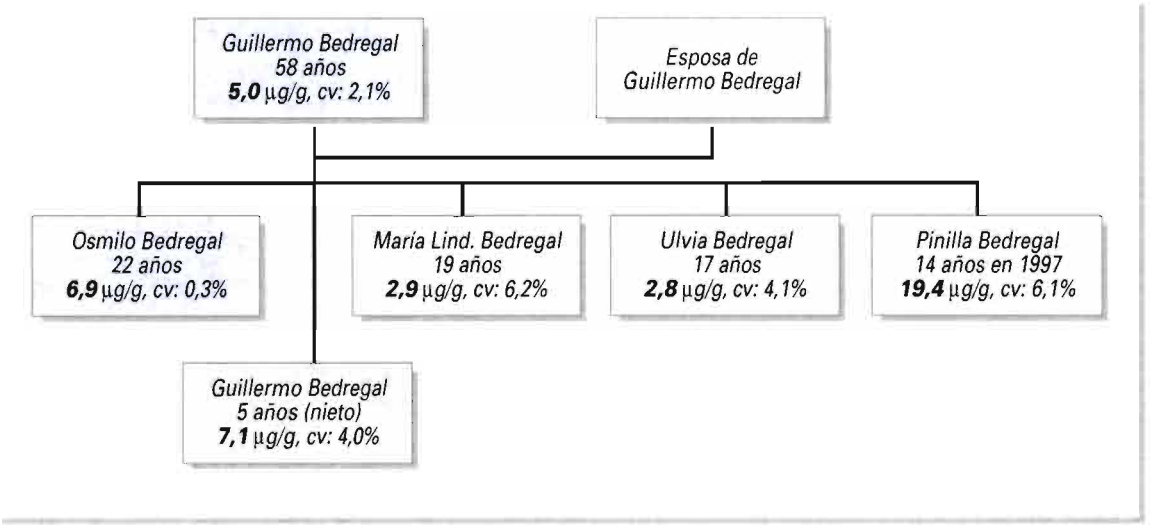


figura 4.6 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Bedregal (Población de Rurrenabaque, río Beni).

En el caso de los pescadores y consumidores regulares de peces del río Beni, la presencia de mercurio es manifestada claramente con altas concentraciones, considerando que expresamente estas personas se dedican a la pesca para su comercialización y consumo habitual al igual que todos los demás pobladores ribereños.

La diversidad de la alimentación de las personas estudiadas en Bolivia explica por qué el rango de concentración en mercurio analizado en sus cabellos es inferior al rango publicado para poblaciones de la Amazonía brasilera que varia entre 8,7 a 75,5 $\mu g.g^{-1}$ (Barbosa *et al.*, 1997).

4.3 Sobre las comunidades indígenas

A lo largo del río Beni, la población más afectada por la contaminación por mercurio en peces es la comunidad indígena Esseja (gráficos 4.7, 4.8 y 4.9). El consumo de pescado en esta población es mayoritaria. Pertenecen a una población nómada que se dedican únicamente a la actividad de la pesca, y no cultivan las tierras sobre las cuales se instalan.

En los cabellos de los pobladores de esta comunidad, la concentración de mercurio mínima encontrada es de 3,0 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 6,9%) y la máxima, de 19,5 $\mu g.g^{-1}$ (cv: 2,5%) con un **promedio de 9** $\mu g.g^{-1}$ ($\pm$ 34%). El máximo sobrepasa casi 4 veces el valor límite establecido por la OMS.

Se puede observar que 94,9% de esta población está contaminada.

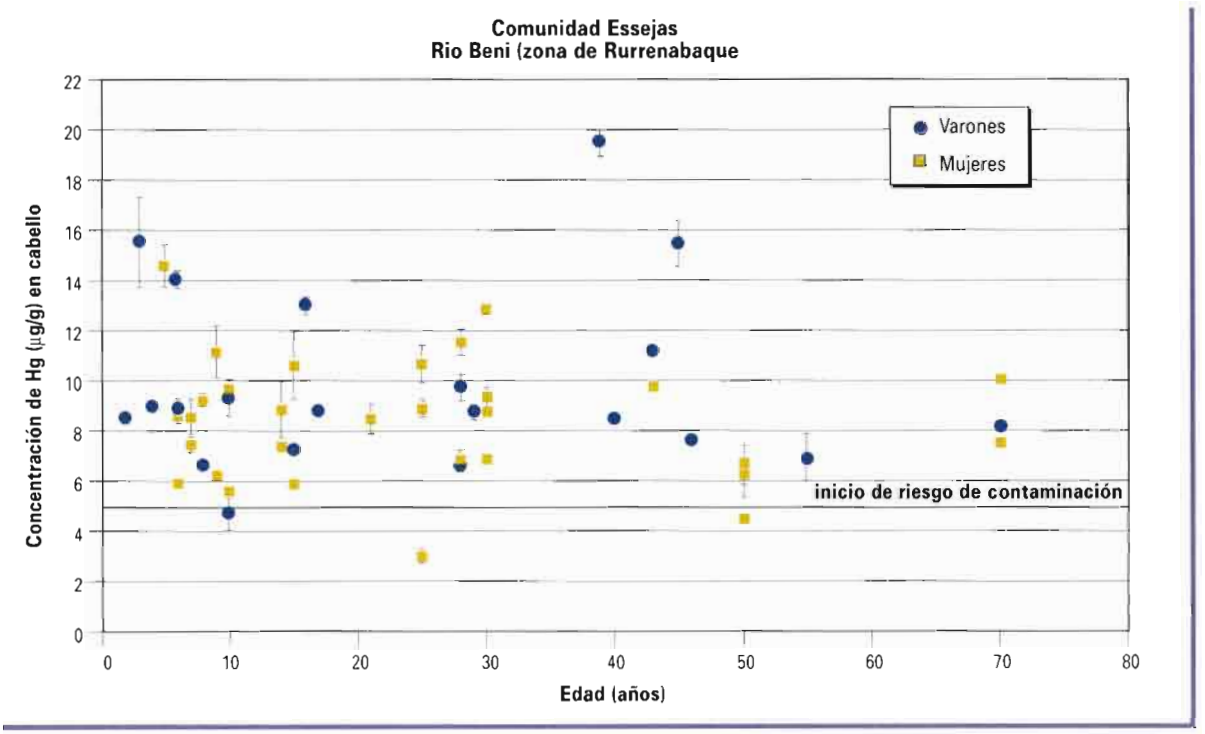


figura 4.7 Concentración de mercurio total en cabellos de la comunidad Indígena Esseja del río Beni respecto a la edad y el sexo. Campañas de diciembre de 1998 y octubre de 1999.

Viven al margen de la población de Rurrenabaque y San Buenaventura, en las orillas del río Beni a unos kilómetros abajo de Rurrenabaque. Dentro de este grupo los habitantes con mayor índice de mercurio son los niños, adolescentes, hombres jóvenes y sobre todo mujeres en edad fértil (gráfico 4.7 y arboles genealógicos).

Esta comunidad comprende aproximadamente 20 familias.

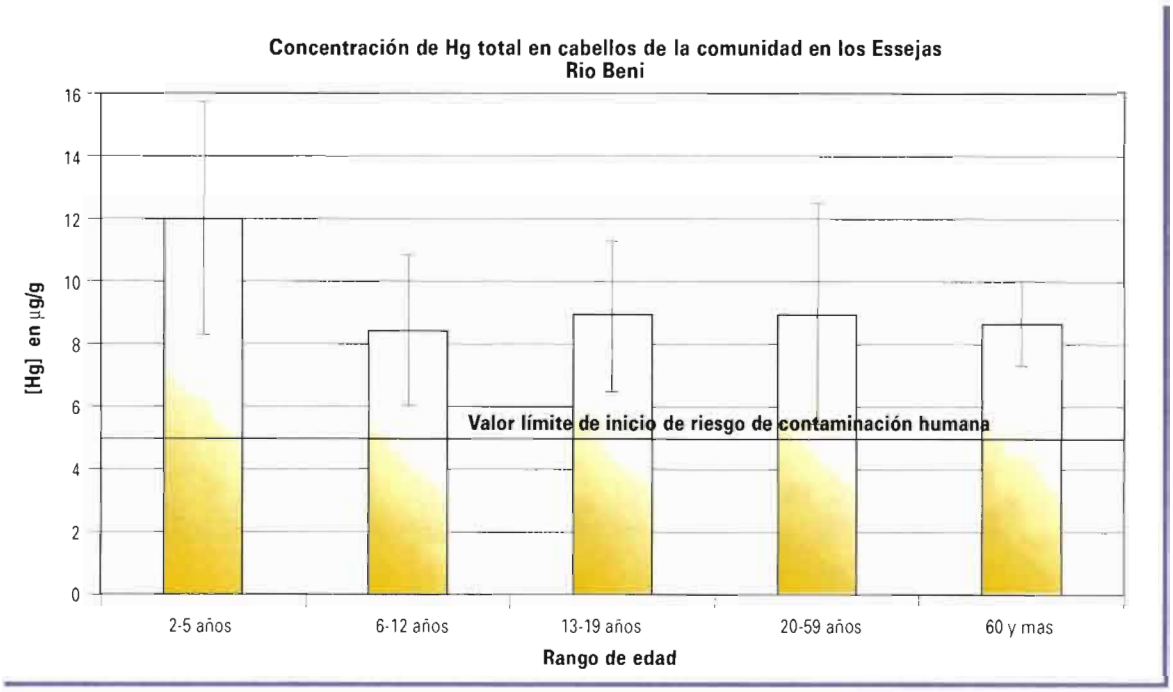


figura 4.8 Concentración de mercurio total en cabellos de la comunidad Indígena Esseja por rango de edad. Campañas de dic. 1998 y oct. 1999.

Unos miembros de la comunidad Essejas, en el río Beni.
Foto: L. Maurice-B.

En los miembros de la familia Gonzales Roca, se observa un alto contenido de mercurio en niños y jóvenes, sin observar una tendencia con el sexo (árbol genealógico 4.9).

En general los hijos tienen concentraciones de mercurio similares al de sus madres o mayores como se ve en esta familia Gonzales.

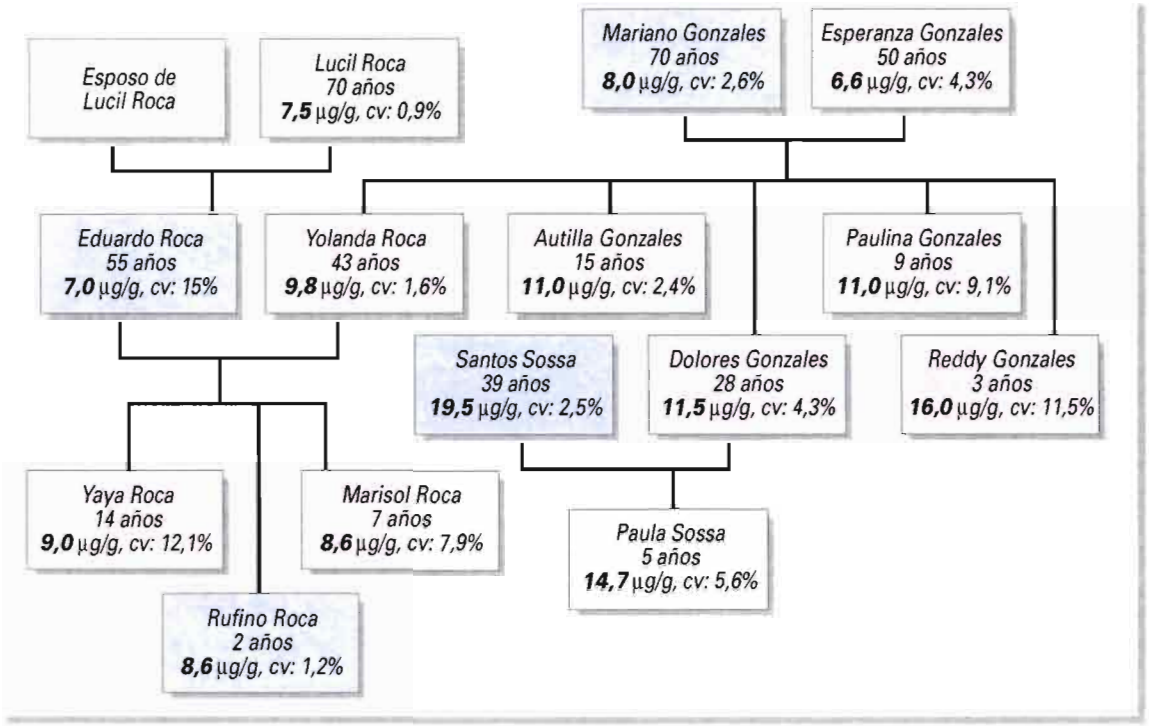


figura 4.9 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Gonzales Roca, Comunidad Esseja (río Beni).

En lo que concierne la familia Valdivia (fig. 4.10), son los hombres que se encuentran con altos índices de mercurio, mientras que en las mujeres sucede lo contrario: la concentración de mercurio disminuye conforme aumenta sus edades.

Según el siguiente árbol genealógico en la familia Valdivia también se observa que los hijos tienen similares o mayores concentraciones de mercurio que sus madres. De las tres generaciones que se tiene, el índice de concentración de mercurio se incrementa de la primera a la tercera generación.

Lo que nos hace pensar que una mujer adulta contaminada puede tener menor contenido de mercurio que el que tenía antes de tener a sus hijos. En efecto, se descontamina durante la etapa de gestación de sus hijos (Barbosa *et al.*, 1997 y 1998); es por eso que los hijos nacen con similares concentraciones de mercurio que sus madres.

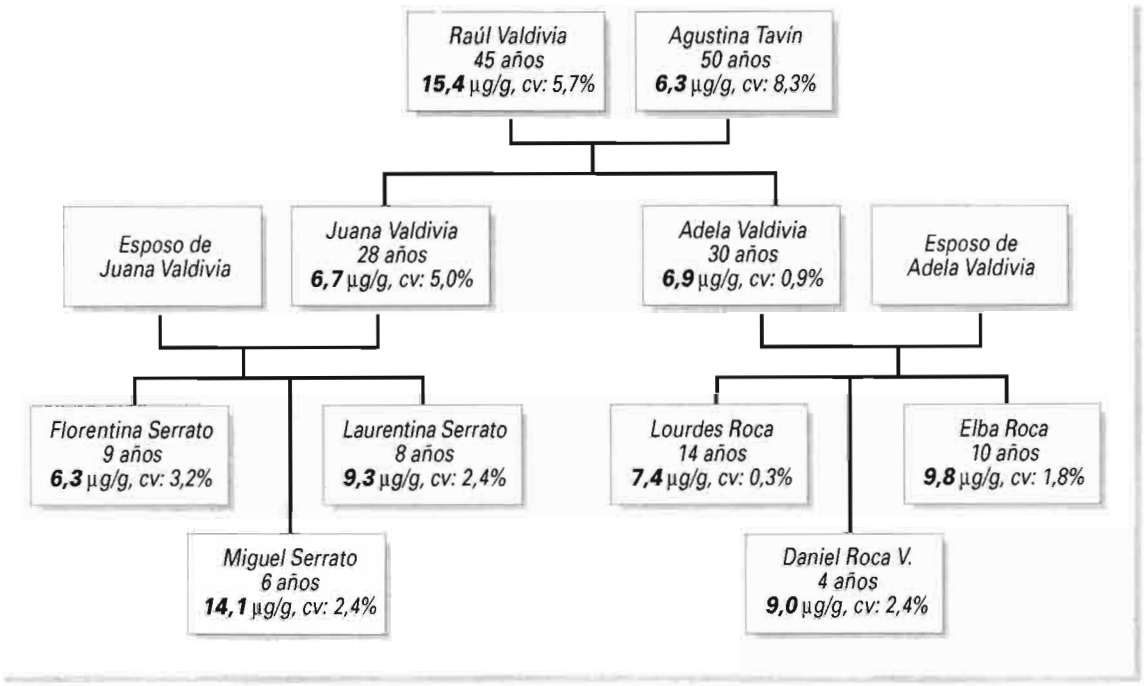


figura 4.10 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Valdivia Serrato, Comunidad Esseja (río Beni).

En las demás familias Monje Sossa y Birsel se repite lo dicho anteriormente (gráfico 4.11), siendo los niños y adolescentes los que tienen mayores concentraciones de mercurio con respecto a los padres y abuelos.

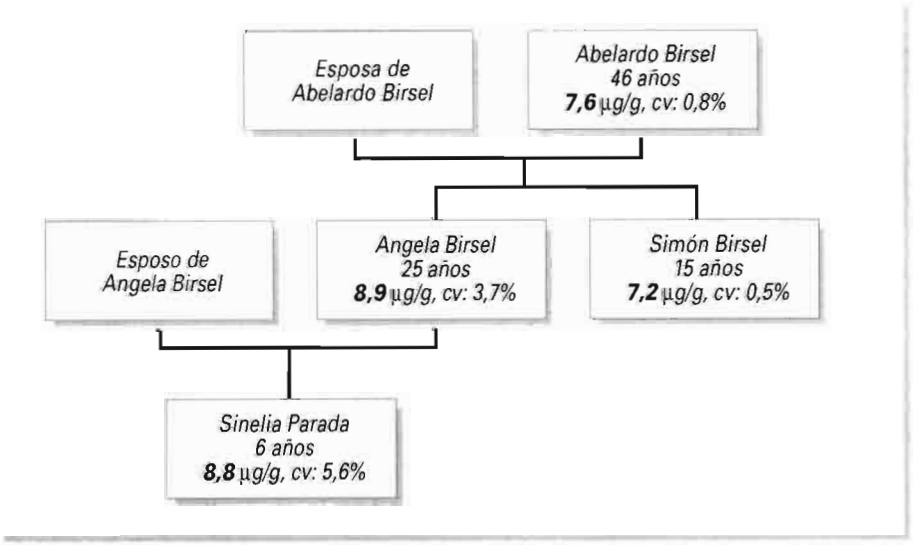


figura 4.11 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Birsel Comunidad Esseja (río Beni).

También se debe mencionar que el diagnóstico médico realizado en esa comunidad indígena, revela abortos frecuentes y dos casos de malformación física. La frecuencia de signos y síntomas está resumida en la tabla siguiente:

Patologías	Anemia	Insuficiencia cardiaca	Bronquitis	Colecistis
% de personas afectadas	6,8%	6,8%	11,9%	5,1%

Tabla 4.2 Patologías detectadas en las familias de la comunidad Indígena Esseja.

La forma orgánica del mercurio, el metilmercurio (MeHg), es absorbida en su totalidad (de 95 a 100%) por el cuerpo humano en el cual está transportado por la sangre. De los análisis de metilmercurio realizados en las especies de peces piscívoros del río Beni, hemos podido constatar que de 80 a 100% del mercurio total analizado es mercurio orgánico.

Así, **basándose sobre la concentración promedio de mercurio analizado en las especies piscívoras del río Beni, de 0,86 $\mu g.g^{-1}$ (± 60%), se puede concluir que no se debería consumir diariamente más de 45 gramos de surubí, pintado, dorado de piel, griso, palometa o bagre.**

De los estudios realizados en la Amazonía brasileña, se prevee disminuir el valor limite de 0,5 $\mu g.g^{-1}$ de carne de pez, establecido por la OMS en 1976, ya que se han detectado impactos sobre la salud de las poblaciones ribereñas que consumen regularmente peces contaminados (Lebel *et al.*, 1998 y 1999). Por ejemplo, en una población ribereña del río Tapajós, en Brasil, cuya concentración promedio de Hg analizado en sus cabellos es de 9 $\mu g.g^{-1}$ (valor idéntico al promedio calculado en los Essejas del río Beni) se ha observado que sus habilidades a ejercicios de desarrollo psico-motor disminuían con el contenido en mercurio en su sangre (Dolbec *et al.*, 2000).

Une carte n'est pas un territoire.
Un mapa no es un territorio.
A. Korzybski (Science en Sanity)

5- Cartografía de zonas en riesgo de contaminación

Para visualizar el alcance de la contaminación mercurial en el medio ambiente y su impacto en las poblaciones ribereñas, en la cuenca del río Beni más específicamente, se elaboraron mapas temáticos del grado de contaminación y transporte del mercurio por las aguas, basándonos en los resultados de los análisis químicos para todos los puntos de muestreo.

Para la elaboración de estos mapas, se ha utilizado el Sistema de Información Geográfica "ArcView" V. 3.1. a partir de lo cual ya, en el marco de un programa de investigación del IRD en Bolivia - BIOCAB- se habían digitalizado los mapas hidrográficos, geológicas, de ocupación de suelos, etc...

Los siguientes mapas (5.1, 5.2, 5.3 y 5.4) presentan la zonificación de la contaminación por mercurio:

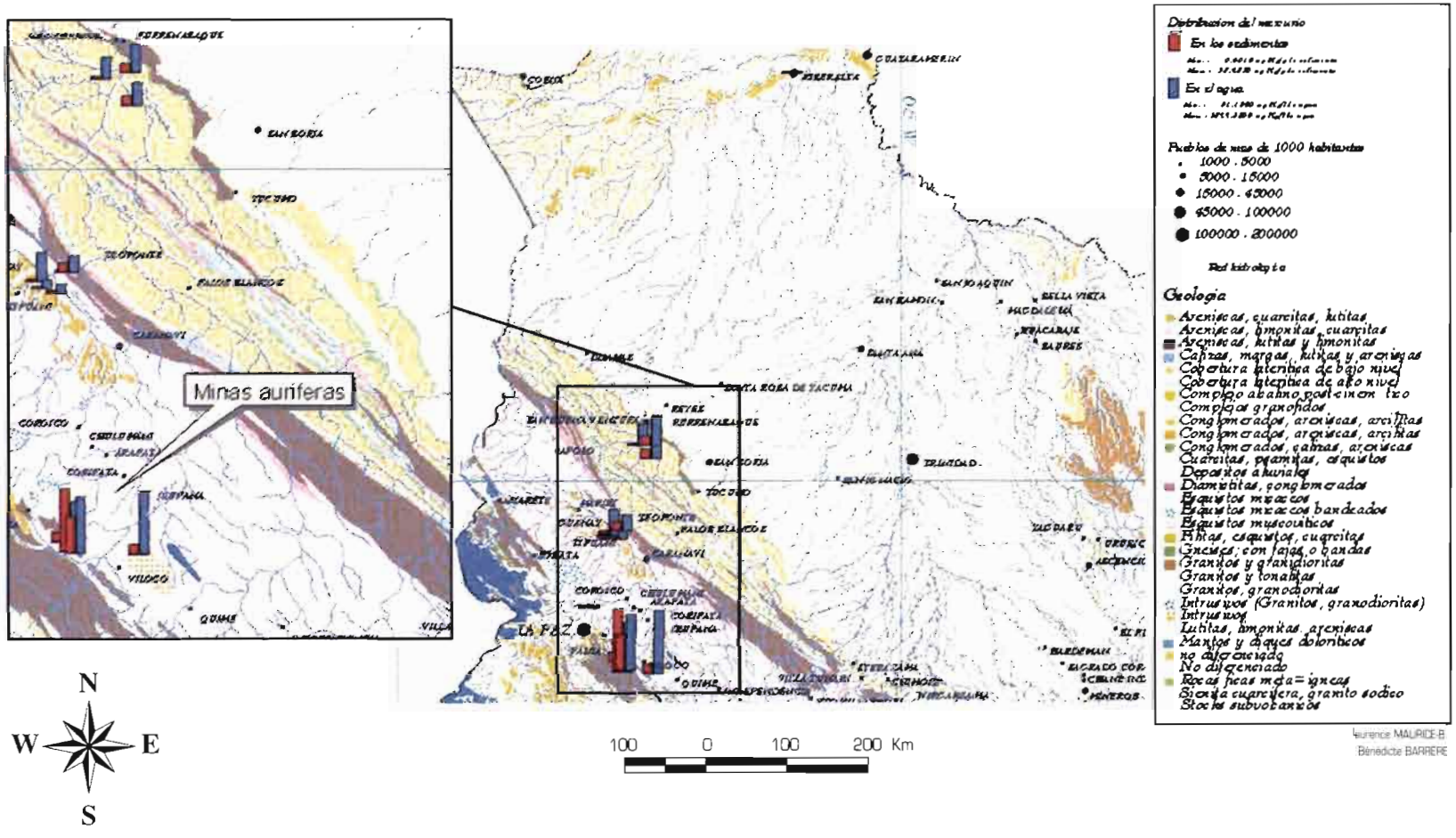
- en aguas y sedimentos, en épocas de estiaje y de crecida,
- en peces, según su hábitat alimentario, y
- en las poblaciones ribereñas, según sus profesiones y dieta alimentaria

La espacialización de los resultados confirma que el área con mayor impacto de la contaminación por mercurio es Rurrenabaque, al limite entre el piedemonte andino de donde el mercurio está arrastrado y transportado, y la llanura amazónica, donde está depositado en parte con los sedimentos finos.

Institut de recherche pour le développement

Distribución del mercurio en las aguas y en los sedimentos de la cuenca amazónica boliviana. Epoca de aguas altas

Proyecto FONAMA - IRD (ex-Orstom) - UMSA
Noviembre de 2000

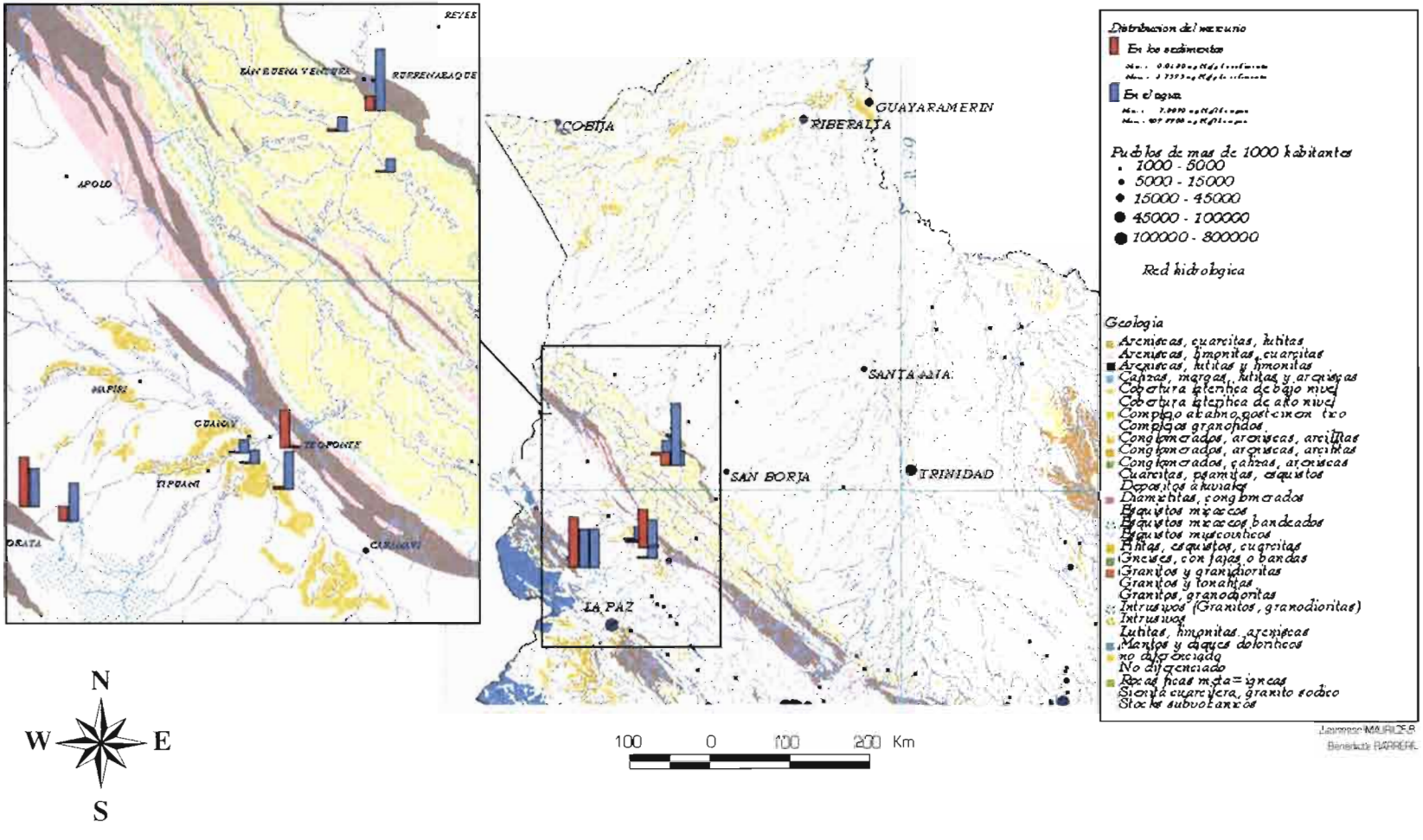


Mapa 5.1 Zonificación de la contaminación por mercurio en época de aguas altas a partir de los análisis en aguas y sedimentos. Están representados los valores promedios por punto de muestreo.

Institut de recherche
pour le développement

Distribución del mercurio en las aguas y en los sedimentos de la cuenca amazónica boliviana. Epoca de aguas bajas

Proyecto FONAMA - IRD (ex-Orstom) - UMSA
Noviembre de 2000

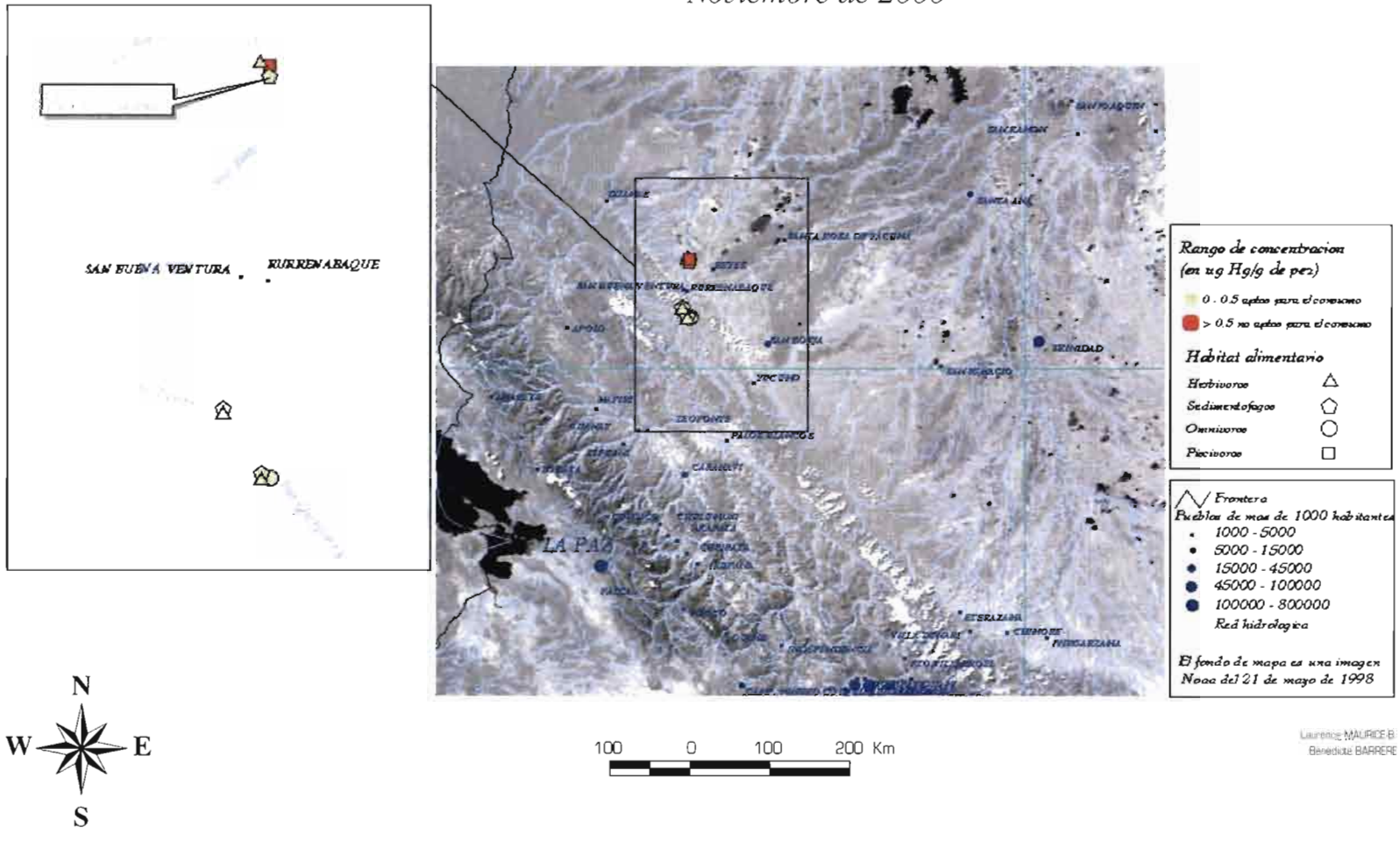


Mapa 5.2 Zonificación de la contaminación por mercurio en época de aguas bajas a partir de los análisis en aguas y sedimentos. Están representados los valores promedios por punto de muestreo.

Institut de recherche
pour le développement

Contaminación por mercurio en la cuenca del Río Beni vía el análisis de los peces

Proyecto FONAMA - IRD (ex-Orstom) - UMSA
Noviembre de 2000

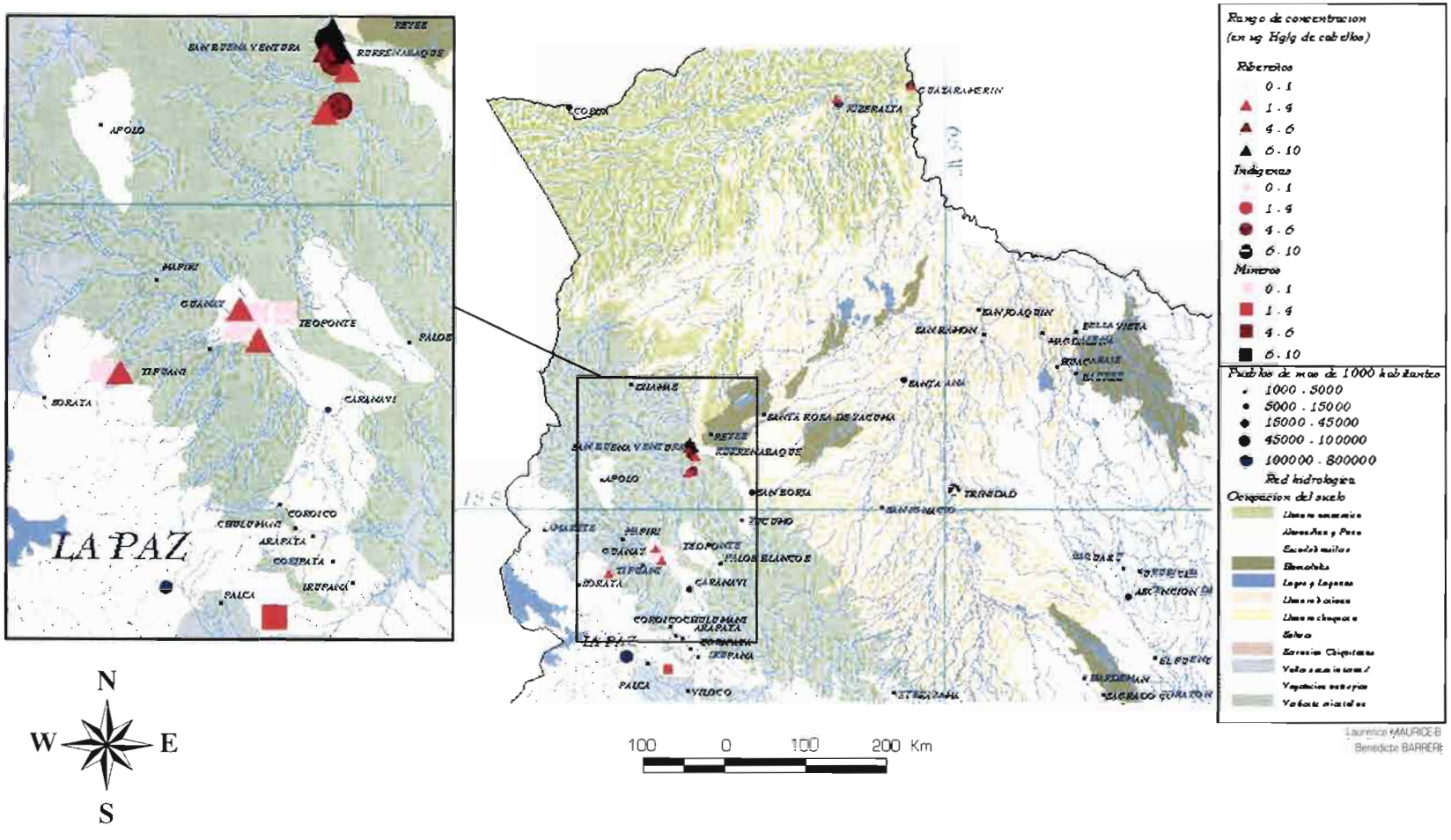


Mapa 5.3 Zonificación de la contaminación por mercurio a partir de los análisis en peces. Están representados los valores promedios de mercurio obtenidos por categoría de pez según sus hábitat alimentarios.

Institut de recherche
pour le développement

Contaminación por mercurio en la cuenca amazónica boliviana vía el análisis de los cabellos

Proyecto FONAMA - IRD (ex-Orstom) - UMSA
Noviembre de 2000



Mapa 5.4 Zonificación de la contaminación por mercurio a partir de los análisis en cabellos. Están representados los valores promedios por categoría de personas (según sus profesiones y hábitat alimentarios).

6- Conclusiones y recomendaciones

Todos estos resultados muestran que el desecho de mercurio en la Amazonía durante las operaciones de extracción de oro, actuales y durante el periodo colonial, y debido a ciertas prácticas agrícolas, como el chaqueo, que favorecen el proceso natural de erosión de los suelos, representan un peligro al medio ambiente y a la salud humana. Este desecho afecta ambos al ecosistema y a las poblaciones que viven alejadas de las actividades humanas de extracción aurífera o de deforestación, aguas abajo.

En los ríos Coroico y Beni, al máximo de la crecida, las concentraciones en mercurio total son respectivamente 50 y 45 más elevadas que en época seca, con valores que sobrepasan 100 $ng.l^{-1}$. Los regímenes hidrometeorológicos y el transporte importante de la carga sólida en las subcuencas andinas pueden explicar esos valores máximos. De noviembre a marzo, las partículas contaminadas están transportadas adsorbidas sobre los sólidos suspendidos finos, en las arcillas más específicamente, desde las cabeceras andinas hasta la llanura Amazónica donde pueden depositarse. Eso sucede especialmente en época de lluvia, cuando la erosión de los suelos es significativa. Se ha observado una zona de subsidencia al nivel de Rurrenabaque, que favorece este proceso de sedimentación.

Parece claramente que el factor principal de control de las concentraciones en mercurio en los tributarios andinos de la cuenca amazónica es el proceso de erosión favorecido por pendientes naturales muy fuertes, y acelerado por ciertas actividades humanas como los chaqueos excesivos y los cultivos sin construcción de terrazas, en los Yungas más específicamente, la explotación aurífera, y la construcción de carreteras.

En los peces, se ha podido observar que el **72% de las especies piscívoras y carnívoras colectadas en el río Beni, aguas abajo de Rurrenabaque, está contaminado por mercurio**, rebasando el valor de 0,5 $\mu g.g^{-1}$ recomendado por la OMS. Las especies las más contaminadas son: Brachyplatystoma *flavicans* (dorado de piel), Pseudoplatystoma *fasciatum* (pintado), Paulicea *lutkini* (bagre común), Pseudoplatystoma *tigrinum* (surubí) y Pygocentrus *nattereri* (palometa).

En cambio, ninguna de las especies omnívoras, sedimentófagas, herbívoras o insectívoras está contaminada, ya que se encuentran en un nivel trófico inferior al de las especies carnívoras y piscívoras.

En las poblaciones ribereñas, se han clasificado los resultados en 3 categorías, según las profesiones y prácticas alimentarias de las personas. Esas poblaciones son, por orden creciente de contaminación:

1. Los mineros auríferos
2. Los pescadores y agricultores ribereños del río Beni
3. La comunidad indígena Esseja

El mercurio ingresa en los mineros por la vía respiratoria y las manos cuando lo manipulan sin precaución. Los resultados débiles obtenidos se explican por el hecho de que el mercurio inorgánico inhalado por los mineros, es eliminado poco a poco por la vía urinaria, es decir que no circula por la sangre y explica por qué no se detectó en los cabellos. Sin embargo, se ha podido detectar diferencias entre el contenido en Hg de uno a otro grupo minero según la forma con la cual amalgaman con mercurio y queman esa amalgama para la recuperación del oro.

Del total de la población ribereña del río Beni estudiada en la zona de Rurrenabaque, el 40,7% se encuentra contaminada, ya que sobrepasa el valor limite de inicio de riesgo de contaminación de 5 $\mu g.g^{-1}$.

A lo largo del río Beni, la población más afectada por la contaminación por mercurio en peces es la comunidad indígena Esseja. Pertenecen a una población nómada que está sedentarizándose que se dedica únicamente a la actividad de la pesca. En los cabellos de los pobladores de esta comunidad, la concentración promedio de mercurio es de 9 $\mu g.g^{-1}$ (± 34%). El máximo sobrepasa hasta 4 veces el valor limite establecido por la OMS. Se puede observar que 94% de esta población está contaminada, y que esta contaminación es más fuerte en los recién-nacidos y niños que en las personas de la tercera edad.

El consumo de peces ictiófagos adultos que han acumulado fuertes cantidades de metilmercurio a través de una prolonga bioacumulación y biomagnificación es particularmente peligroso para la salud humana.

El metilmercurio tiene la propiedad de pasar a través de la placenta de tal manera que contamina al feto y al recién-nacido. Los niveles de exposición al mercurio de los bebés son comparables a los de sus madres; pero se debe añadir que los efectos sobre esos primeros son más dañinos para su salud debido a que su barrera hemato-encefálica está todavía en formación y por tanto facilita el pasaje del metilmercurio al cerebro. En ese caso, los efectos sobre el sistema neurológico son irreversibles y pueden ser muy perjudiciales para el desarrollo mental y motor de esos niños.

Las investigaciones en Amazonía indican que en ausencia de signos clínicos, el nivel de MeHg en las poblaciones expuestas modifica el funcionamiento de su sistema nervioso. Muestran que el Hg afecta a los sistemas motor, visual y neurológico de manera precoz.

Esos resultados indican que los efectos del MeHg aparecen antes de la manifestación de los síntomas de intoxicación que son:

- sensaciones de quemaduras y picazones en las extremidades de las manos, de los pies, y de la boca
- una reducción del campo de visión
- sordera
- pérdidas de coordinación de los miembros
- dificultades de locución
- coma, y
- muerte

Se debe añadir que en las comunidades amazónicas, que ya viven en la pobreza y en presencia de numerosas enfermedades endémicas, como la malaria, la fiebre amarilla, las hepatitis, las parasitosis, etc..., la neurotoxicidad del mercurio puede constituir un obstáculo adicional a los esfuerzos de mejoramiento de sus condiciones de vida.

La amazonía es naturalmente un sistema con riesgos naturales de contaminación por mercurio y toda acción antropogénica puede ser perjudicial a la salud humana y al funcionamiento de los ecosistemas

Las principales recomendaciones para minimizar los efectos de la contaminación mercurial en la Amazonía y en la salud humana son:

1. Informar y sensibilizar a los gobernantes del problema que afecta a toda la Amazonía en general y a Bolivia en particular
2. Educar y sensibilizar a las poblaciones ribereñas del río Beni por medio de entrevistas, información y a través de medios masivos y contacto directo
3. Recomendar el consumo regular de peces omnívoros y sólo excepcionalmente el de peces carnívoros y piscívoros
4. Proponer técnicas alternativas de extracción del oro con un uso controlado del mercurio o la recuperación mediante técnicas economicamente accesibles.
5. Sensibilizar a las poblaciones sobre el hecho de que la deforestación y la construcción de carreteras favorecen el proceso de erosión de los Andes y por tanto de la contaminación de las aguas por mercurio y otros metales pesados
6. Evitar la construcción en la zona de Rurrenebaque de embalses que retienen el mercurio y contaminan toda la cadena trófica
7. Prever en monitoreo, a mediano plazo, de la contaminación producida por el mercurio, en la cuenca amazónica.

Ne demandez pas ce que votre pays peut faire pour vous,
Mais demandez-vous ce que vous pouvez faire pour votre pays.
No pregunten lo que su país puede hacer para usted,
Sino pregúntense lo que pueden hacer para su país.
Khalil Gibran (Les Trésors de la sagesse)

Referencias Bibliográficas

Agemian H. and Cheaner V., 1978. Simultaneous extraction of mercury and arsenic from fish tissues and an automatic determination by Atomic absorption Spectrometry. *Anal. Chem.* Acta, 101: 193-197.

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 licenciatura en Química*, UMSA, La Paz, 87 p.

Alhers W.W., Reid M.R., Kim J.P. and Hunter K.A., 1990. Contamination-free sample collection and handling protocols for trace elements in natural freshwaters. *Austr. J. Mar. Freshwater Res.*, 41: 713-720.

Baby P., Guyot J.L. and Hérail G., *in press*. The high Amazonian basin in Bolivia: tectonic control, erosion and sedimentation. Accepted in *Hydrological Processes*.

Barbosa A.C., Garcia A.M., and de Souza J., 1997. Mercury contamination in hair of riverine populations of Apiacas Reserve in the Brazilian Amazon. *Water, Air and Soil Pollut.*, 97: 1-8.

Barbosa A.C., Silva S.R.L., and Dórea J.G., 1998. Concentration of mercury in hair of indigenous mothers and infants from the Amazon basin. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 34: 100-105.

Denevan W.M., 1980. The aboriginal cultural geography of the Llanos de Mojos of Bolivia. Trad. J.M. Barnadas, (Ed. W.D. Denevan), California Press, 1966, Berkeley, 272 p.

Dolbec J., Mergler D., Sousa Passos C.J., Sousa de Morais S. and Lebel J., 2000. Methylmercury exposure affects motor performance of a riverine population of the Tapajós river, Brazilian Amazon. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 73: 195-203.

Dumont J.F., Hérail G. and Guyot J.L., 1991. Subsidencia, inestabilidad y repartición de los placeres distales de oro. El caso del río Beni (Bolivia). En: simposio internacional sobre los yacimientos de oro, La Paz, Bolivia, 3-5 junio 1991, (Hérail et Fornari, Eds), ORSTOM Ed., pp 43-46.

Eder F.J., 1772. Breve descripción de las reducciones de Mojos. Trad. J.M. Barnadas, Ed. Historia boliviana, 1985, Cochabamba, 424 p.

Ferreira E. J. G., Zuanon J. A. S. and dos Santos G. M., 1998. Peixes Comerciais do Médio Amazonas: Região de Santarém, Pará. (IBAMA, Ed.), 212 p.

Fitzgerald and Mason, 1997. Biogeochemical cycling of mercury in the marine enviroment. In: *Metal ions in biological systems - Mercury and its effects on environment biology*. Vol. 34, pp: 53-11

Gaudet C., Lingard S., Cureton P., Keenleyside K., Smith S. and Raju G., 1995. Canadian environmental quality guidelines for mercury. *Water, Air and Soil Pollut.*, 80: 1149-1159.

Guimarães J.R.D., Meili M., Hylander L.D., Roulet M., Silva E.C., Mauro J.B.N., and Lemos R.A., 2000. Net mercury 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.

Guyot J.L., 1993. Hydrogéochimie des fleuves de l'Amazonie bolivienne. ORSTOM France (Eds., Collection Etudes et Thèses), 261 p.

Haenke, 1799. Memoria sobre los ríos navegables que luyen al Marañon, 117-140. In: Tadeo Haenke, su obra en los Andes y la selva boliviana, (G. Ovendo-Sanz Ed.), Los Amigos del Libro, 1974, La Paz.

Hérail G., Argollo J., Fornari M., Laubacher G., and Viscarra G., 1986. El distrito de Tipuani, geología e historia. *Khrysos* 2: 9-15.

Hérail G. and Fornari M., 1991. Gisements alluviaux d'or - Alluvial gold placers - Yacimientos aluviales de oro. Actas del simposio internacional sobre los yacimientos de oro, La Paz, Bolivia, 3-5 juin 1991. (Hérail et Fornari, Eds), ORSTOM Ed., 402 p.

Kirkpatrick F.A., 1935. Les conquistadors espagnols. Trad. A. & H. Collin Delavaud, (Payot Ed.) 1980, Paris, 316 p.

Lacerda L. D., and Salomons W. 1991. Mercury in the Amazon: a Chemical Time-Bomb. Dutch Ministry of Housing, *Physical Planning and Environment*, Haren.

Lacerda L. D., and Salomons W. 1998. Mercury from gold and silver mining: a chemical time bomb? (Springer-Verlag Ed.), Berlín.

Lebel J., Mergler D., Branches F., Lucotte M., Amorim M., Larribe F. and Dolbec J., 1998. Neurotoxic effects of low-level mercury contamination in the Amazonian basin. *Environment. Res.* A79, 20-32.

Lebel J., Roulet M., Mergler D., Lucotte M., and Larribe F., 1999. Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population. *Water, Air and Soil Pollut.* 97: 31-44.

Malm O., Pfeiffer W.C., Souza C.M.M. and Reuther R., 1990. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira river basin, Brazil. AMBIO, 19(1): 11-15.

Malm O., Branches F.J.P., Akagi H., Castro M.B., Pfeiffer W. C., Harada M., Bastos W.R., and Kato H., 1995. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós river basin, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 175:141-150.

Maurice-Bourgoin L., Guyot J.L., Seyler P., Courau P., Filizola N. and Quintanilla J., 1997a. Répartition des teneurs en mercure dans les eaux de surface du bassin du Madeira, des Andes à l'Amazone. Freshwater contamination (Webb B. Ed.), *IAHS Pub.* 243:85-92.

Maurice-Bourgoin L., Courau P., and Quintanilla J., 1997b. Análisis del mercurio por Fluorescencia Atómica en los principales ríos de la cuenca amazónica boliviana. *Revista Boliviana de Química*, Vol.14 (1): 42-51.

Maurice-Bourgoin L., Quiroga I., Guyot J.L., and Malm O., 1999 a. Mercury pollution in the upper Beni River basin, Bolivia. AMBIO, 28(4): 302-306.

Maurice-Bourgoin L. and Malm O., 1999b. Los ciclos del mercurio. Informe seminario U.M.S.A - I.I.Q., del 5 al 8 de Julio. *Informe IRD* (ex-ORSTOM) 51 p.

Maurice-Bourgoin L., Quiroga I., Chincherros J., and Courau P., 2000 a. Mercury distribution in waters and fishes of the Upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. *The Science of the Total Environment*, 260: 73-86.

Maurice-Bourgoin L., Fraizy P., Alanoca L., Seyler P. and Guyot J.L., 2000 b. Hydrological control on the temporal variability of mercury in surface waters of the Upper Madeira basin, Bolivia. In: *25th Int. Conference on Heavy Metals in the Environment* (J. Nriagu, Ed.), Contribution #1282, University of Michigan, School of Public Health, Ann Arbor, MI (CD-Rom).

Maurice-Bourgoin L., Aalto R., Fraizy P., Barnaud V. and Guyot J.L., 2001. Modulation of Mercury Transport through Fluvial Systems by Channel-Floodplain Interaction: A Case Study for the Beni River, Bolivian Amazonia. In: *6th Int. Conference on Mercury as a global pollutant*, Minamata, Japan.

Maurice-Bourgoin L., Quémerais B., Guyot J.L., Seyler P. and Laraque A., *in press*. Transport, distribution and speciation of mercury in the Amazon River at the confluence of black and white waters of the Negro and Solimões rivers. Submitted on June, 2000, to *Hydrological Processes (Special Issue on Manaus Int. Conf., 1999)*.

Molinier M., Guyot J.L., Callède J., Guimarães V., Oliveira E. and Filizola N., 1997. Hydrologie du bassin amazonien. In: *Environnement et développement en Amazonie brésilienne*, (Théry H. Ed.), Publ. Belin, Paris, pp:24-41.

Montes de Oca I., 1997. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. (Montes de Oca, Ed.) La Paz, Bolivia.

Nolting R.F. and De Jong J.T.M., 1994. Sampling and analytical methods for the determination of trace metals in surface seawaters. *Intern. J. Environ. Anal. Chem. 57*: 189-196.

Nriagu J.O. 1993. Legacy of mercury pollution. *Nature* (London) 363:589.

Nriagu J.O., Pfeiffer W. C., Malm O., Souza C. M. M. and Mierle G., 1992. Mercury pollution in Brazil. *Nature* (London), 356:389.

Orbigny A. (d'), 1845. Descripción geográfica, historia y estadística de Bolivia. Tomo primero (y único), Ed. Gide, París, 402 p.

Palacios J.A., 1844-1847. Exploraciones realizadas en los ríos Beni, Mamoré y Madera y en el lago Rogo-Aguado. (Ed. Del Estado), 1944, La Paz, 77 p.

Rae J.E. and Aston S.R., 1982. The role of suspended solids in the estuarine geoquemistry of mercury. *Water Res.* 16: 649-654.

Roche M.A., 1986. Distribuciones espacio-temporales de los parámetros climatológicos sobre Bolivia. En: 1er simposio de la Investigación francesa en Bolivia (C. Dejoux, Ed.), ORSTOM, pp 29-32.

Rodrigo J.H., 2000. Estudio clínico de los habitantes de Rurrenabaque, Guanay, Teoponte, Yani e Illimani - 1998-2000. Informe FONAMA/IRD/UMSA, 10 p. + anexos.

Roulet M., Lucotte M., Canuel R., Rheault I., Tran S., De Freitos Gog Y.G., Farella N., Souza do Vale R., Sousa Passos C.J., De Jesus da Silva E., Mergler D. and Armorim M., 1998. Distribution and partition of total mercury in waters of the Tapajós River Basin, Brazilian Amazon. *The Science of the Total Environment*, 231:203-211.

Roulet M., Lucotte M., Farella N., Rheault I., Serique G., Sousa Passos C.J., De Jesus da Silva E., Scavonne de Andrade P., Mergler D., Guimarães J.-R.D., and Amorim M., 1999. Effect of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water Air and Soil Pollution*, 112: 297-313.

Roulet M., Guimarães J.R.D. and Lucotte M., 2001. Methylmercury production and accumulation in sediments and soils of an Amazonian floodplain - effect of seasonal inundation. *Water, Air and Soil Pollution*, 128(1/2):41-60.

Veiga M. M., 1997. Introducing new technologies for abatement of global mercury pollution, phase II: Latin America, Report prepared for UNIDO.

Índice de figuras

figura 1.1 Mapa histórico del Perú y Alto-Perú elaborada en 1810 (Fuente: Atlas Digital de Bolivia, IGM). 15

figura 1.2 Mapa hidrográfico de la cuenca amazónica boliviana del río Madeira en Villabella. ... 16

figura 1.3 Grandes unidades geomorfoestructurales de la cuenca del Amazonas (según Molinier et al., 1997). 17

figura 1.4 Evolución aguas arriba hacia aguas abajo del hidrograma del río Beni (hidrogramas del año hidrológico 1999-2000) 19

figura 1.5 Caudales y flujos instantáneos de sedimentos arrastrados a los Andes, en el río Beni en Angosto del Bala (aguas arriba de Rurrenabaque), al pie del piedemonte andino (1998-2000) 20

figura 1.6 Relación entre el caudal y los sólidos suspendidos transportados por el río Beni, en su parte andina, en el piedemonte y en los llanos (1998-2000). 20

figura 1.7 Variaciones mensuales de las concentraciones en mercurio en los ríos Coroico y Beni, en Rurrenabaque (según Maurice-Bourgoin et al., 2000b). 22

figura 2.1 Ciclo biogeoquímico del mercurio en áreas auríferas de la Amazonía. 27

figura 3.1 Área de estudio y ubicación de los puntos de muestreo de agua, sedimentos, peces y cabellos, Departamentos de La Paz y del Beni. 29

figura 3.2 Esquema del análisis del mercurio por Espectrometría de Absorción Atómica. 32

figura 3.3 Concentraciones de mercurio en las aguas y suspensiones del río La Paz y sus afluentes andinos, al pie de minas, y de los tributarios del río Tipuani, en el área del Yani. Campañas de diciembre 1999 y mayo 2000. 34

figura 3.4 Concenttaciones de mercurio en las aguas y suspensiones del río Beni en Rurrenabaque y de sus principales afluentes andinos. Campañas de octubre de 1999 y diciembre de 1998. 35

figura 3.5 Calibración de los análisis de mercurio en los sedimentos con lecturas de un material de referencia calibrado (ERA). 36

figura 3.6 Resultados de mercurio total en los sedimentos de los ríos de la cuenca del río Beni hasta Rurrenabaque (fechas de colecta entre dic. 1998 y mayo 2000). 38

figura 3.7 Concentración promedio de mercurio total en peces carnívoros y no carnívoros colectados durante las campañas realizadas entre noviembre 1996 y octubre 1999. Las desviaciones estándar son representativas del rango de concentraciones obtenido en varias muestras de la misma especie (con pesos diferentes). 40

figura 3.8 Concentración de mercurio analizado en especies de peces carnívoras y piscívoras, colectadas en el río Beni, aguas abajo de Rurrenabaque. 41

figura 3.9 Concentración de mercurio analizado en especies de peces omnívoras, herbívoras, sedimentófagas e insectívoras, colectadas en el río Beni, aguas abajo de Rurrenabaque. 44

figura 3.10 Valor promedio de la concentración de mercurio total en peces carnívoros respecto al peso promedio de cada especie colectada. Campañas Diciembre de 1998 y Octubre de 1999. 45

figura 3.11 Concentración de mercurio total en la especie Pseudoplatystoma *tigrinum* (surubí) respecto al peso. 45

figura 3.12 Concentración de mercurio total en la especie Brachyplastystoma *flavicans* (dorado de piel) respecto al peso. 46

figura 3.13 Concentración de mercurio total en la especie Pseudoplatystoma *fasciatum* (pintado) respecto al peso. 46

figura 3.14 Valor promedio de la concentración de mercurio total en peces no carnívoros respecto al peso promedio de cada especie. 47

figura 3.15 Concentración de mercurio total en las especies Mylossoma *duriventre* (jatara) y Colossoma *macropomum* (tambaqui) respecto al peso. 47

figura 3.16 Concentración de mercurio total en la especie Prochilodus *nigricans* (sábalo) respecto al peso. 47

figura 4.1 Concentración de mercurio total en cabellos de mineros de las zonas de Guanay, Yani e Illimani. 49

figura 4.2 Concentración de mercurio total en cabellos de pobladores ribereños del río Beni respecto a su edad y sexo. Campañas dic. 98 y oct. 99. 50

figura 4.3 Concentración de mercurio total en cabellos de pobladores ribereños del río Beni respecto al rango de edad. Campañas dic. 98 y oct. 99. 51

figura 4.4 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Huajna Cartagena (población San Juanito - Puerto Yumani, Río Beni). 51

figura 4.5 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Mamani Cáceres (población: Rial Beni, Río Beni). 52

figura 4.6 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Bedregal (Población de Rurrenabaque, río Beni). 53

figura 4.7 Concentración de mercurio total en cabellos de la comunidad Indígena Esseja del río Beni respecto a la edad y el sexo. Campañas de diciembre de 1998 y octubre de 1999. 54

figura 4.8 Concentración de mercurio total en cabellos de la comunidad Indígena Esseja por rango de edad. Campañas de dic. 1998 y oct. 1999. 55

figura 4.9 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Gonzales Roca, Comunidad Esseja (río Beni). 56

figura 4.10 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Valdivia Serrato, Comunidad Esseja (río Beni). 57

figura 4.11 Concentración en mercurio total en los cabellos de la Familia Birsel Comunidad Esseja (río Beni). 57

Índice de tablas

Tabla 2.1 Estimación del mercurio introducido por la minería de oro y plata 25

Tabla 3.1 Protocolos de mineralización de las muestras de sedimentos, peces y cabellos 30

Tabla 3.2 Concentraciones en mercurio contenido en las aguas y suspensiones de todos los ríos estudiados en el marco del proyecto FONAMA en época seca (junio 1999, oct. 1999, nov. 1997) y en época de lluvias (dic. 98). 32

Tabla 3.3 Resultados de los análisis de mercurio en las muestras de sedimentos colectados en el marco de los proyectos FONAMA e HiBAm. 37

Tabla 3.4 Concentración de mercurio total en peces, por especie, colectados durante las campañas realizadas entre nov. 96 y oct. 99 (las concentraciones de mercurio están expresadas en µg/g de peso húmedo y el rango de porcentaje de error corresponde a la desviación estándar de los valores mínimo y máximo de Hg total). 43

Tabla 4.1 Patologías detectadas en las poblaciones mineras de las zonas de explotación aurífera de Guanay, de Lambate y de Yani. 50

Tabla 4.2 Patologías detectadas en las familias de la comunidad Indígena Esseja. 58

Índice de mapas de zonificación de la contaminación

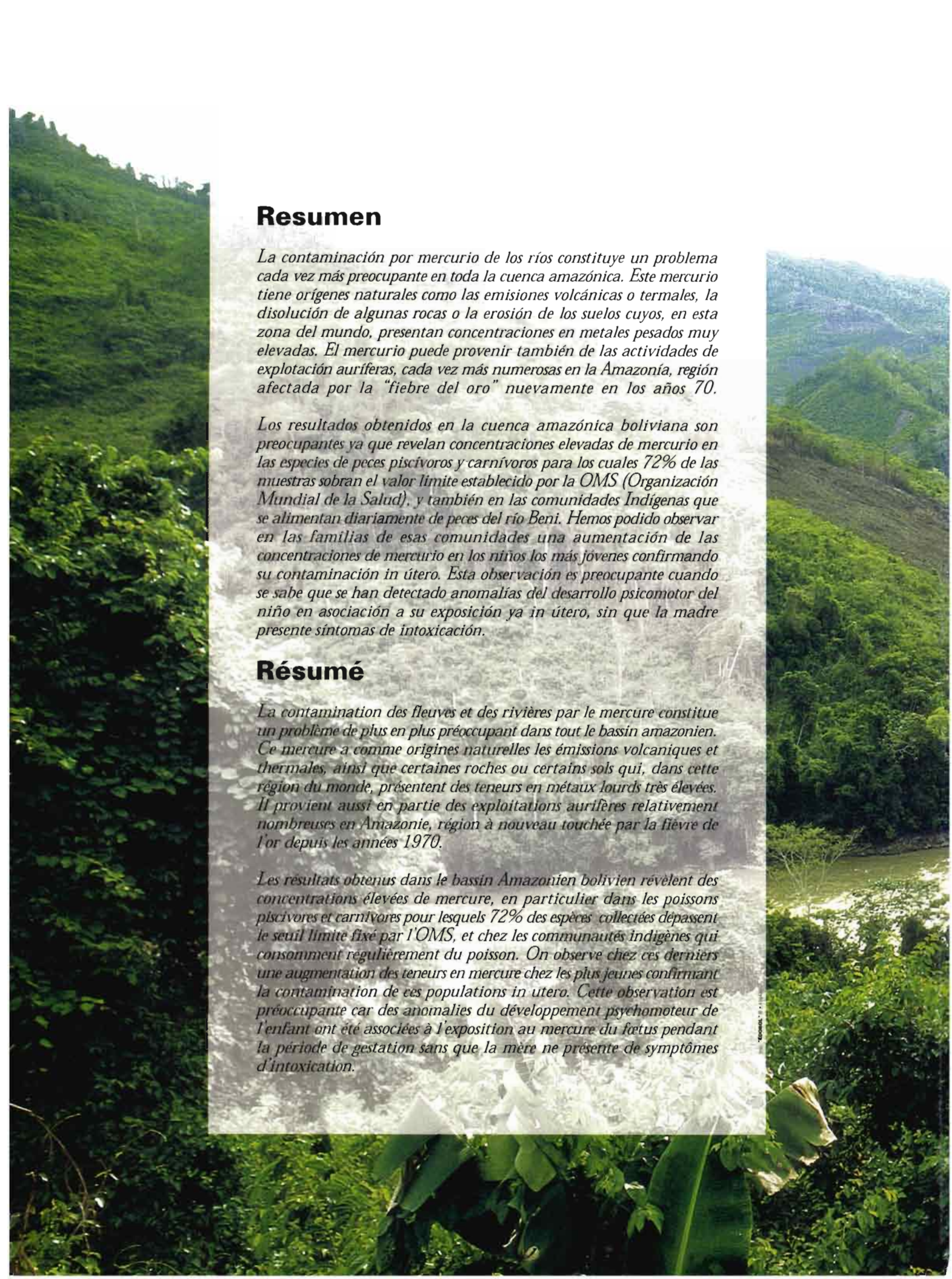
Mapa 5.1 Zonificación de la contaminación por mercurio en época de aguas altas a partir de los análisis en aguas y sedimentos. 60

Mapa 5.2 Zonificación de la contaminación por mercurio en época de aguas bajas a partir de los análisis en aguas y sedimentos. 61

Mapa 5.3 Zonificación de la contaminación por mercurio a partir de los análisis en peces 62

Mapa 5.4 Zonificación de la contaminación por mercurio a partir de los análisis en cabellos 63

Este libro se terminó de imprimir en el mes de junio de 2001
en los talleres de Editorial Offset Boliviana Ltda. "EDOBOL"
Calle Abdón Saavedra Nº 2101 • Telfs.: 41 04 48 - 41 22 82 - 41 54 37
Fax: 37 25 52 • Casilla 10495
La Paz - Bolivia



Resumen

La contaminación por mercurio de los ríos constituye un problema cada vez más preocupante en toda la cuenca amazónica. Este mercurio tiene orígenes naturales como las emisiones volcánicas o termales, la disolución de algunas rocas o la erosión de los suelos cuyos, en esta zona del mundo, presentan concentraciones en metales pesados muy elevadas. El mercurio puede provenir también de las actividades de explotación auríferas, cada vez más numerosas en la Amazonía, región afectada por la "fiebre del oro" nuevamente en los años 70.

Los resultados obtenidos en la cuenca amazónica boliviana son preocupantes ya que revelan concentraciones elevadas de mercurio en las especies de peces piscívoros y carnívoros para los cuales 72% de las muestras sobran el valor límite establecido por la OMS (Organización Mundial de la Salud), y también en las comunidades Indígenas que se alimentan diariamente de peces del río Beni. Hemos podido observar en las familias de esas comunidades una aumentación de las concentraciones de mercurio en los niños los más jóvenes confirmando su contaminación in útero. Esta observación es preocupante cuando se sabe que se han detectado anomalías del desarrollo psicomotor del niño en asociación a su exposición ya in útero, sin que la madre presente síntomas de intoxicación.

Résumé

La contamination des fleuves et des rivières par le mercure constitue un problème de plus en plus préoccupant dans tout le bassin amazonien. Ce mercure a comme origines naturelles les émissions volcaniques et thermales, ainsi que certaines roches ou certains sols qui, dans cette région du monde, présentent des teneurs en métaux lourds très élevées. Il provient aussi en partie des exploitations aurifères relativement nombreuses en Amazonie, région à nouveau touchée par la fièvre de l'or depuis les années 1970.

Les résultats obtenus dans le bassin Amazonien bolivien révèlent des concentrations élevées de mercure, en particulier dans les poissons piscivores et carnivores pour lesquels 72% des espèces collectées dépassent le seuil limite fixé par l'OMS, et chez les communautés indigènes qui consomment régulièrement du poisson. On observe chez ces derniers une augmentation des teneurs en mercure chez les plus jeunes confirmant la contamination de ces populations in utero. Cette observation est préoccupante car des anomalies du développement psychomoteur de l'enfant ont été associées à l'exposition au mercure du fœtus pendant la période de gestation sans que la mère ne présente de symptômes d'intoxication.