

INDICE

	Pag.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 El metal mercurio en el medio ambiente	3
2.2 Usos y aplicación del mercurio	5
2.3 Contaminación por mercurio	7
2.4 La minería en Madre de Dios	8
2.4.1 La minería en el río Malinowsky	10
2.4.2 Características ambientales en la cuenca del río Malinowsky	13
2.4.3 Características físicas del río Malinowsky	14
2.5 El mercurio en la minería	16
2.5.1 La amalgamación	16
2.5.2 La quemada de oro	18
2.6 Reglamentación Internacional	20
2.6.1 Concentración máxima permisible de mercurio total en peces agua y sedimento	20
2.7 Mercurio en la salud humana	20
2.8 El metil mercurio en el medio ambiente	28
2.9 Estudios ambientales existentes en la zona	30
III. MATERIALES Y METODOS	32
3.1 Materiales	32
3.1.1 De la zona de estudio	32
3.1.2 Estaciones de muestreo	32
3.1.3 Recursos logísticos	34
3.1.4 Especies de peces seleccionadas	35

3.1.5	Determinación analítica	35
3.2	Métodos	36
3.2.1	Procedimientos de muestreo	36
3.2.2	Análisis estadístico de los resultados	37
IV.	RESULTADOS	38
V.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	48
5.1	Peces	48
5.1.1	Doncella	48
5.1.2	Huasaco	50
5.1.3	Bocachico	51
5.1.4	Carachama	53
5.1.5	Sardina	54
5.2	Sedimento	56
5.3	Agua	57
VI.	CONCLUSIONES	58
VII.	RECOMENDACIONES	60
VIII.	BIBLIOGRAFIA	63
IX.	ANEXOS	72

EVALUACION DE MERCURIO TOTAL EN PECES, AGUA Y SEDIMENTO EN LA CUENCA DEL RÍO MALINOWSKY, DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS, CAUSADA POR LA MINERIA AURIFERA ALUVIAL”

I. INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental de las actividades humanas sobre el entorno en los últimos decenios ha sido significativo, especialmente los efectos debidos a la industria minera, química y energética.

El desarrollo de las actividades antropogénicas en la Amazonía trae consigo impactos negativos sobre los ecosistemas y sus recursos naturales. Uno de esos impactos es la contaminación, que se produce por la adición de compuestos químicos o fenómenos físicos al ecosistema amazónico en cantidades que sobrepasan los niveles de absorción o depuración del mismo, produciendo un daño estructural.

La explotación aurífera en Madre de Dios es un problema muy delicado debido a que en este departamento se encuentran varias zonas de Reservas y Parques naturales como el Parque Nacional Manu, Zona Reservada Amarakaeri, Zona Reservada Alto Purus, Parque Nacional Bahuaja-Sonene, Reserva Nacional Tambopata (INRENA, 2001).

La mayor preocupación en relación con el proceso de extracción de oro, tanto desde el punto de vista ambiental como de salud, es debido a la utilización de mercurio y su consecuente emisión en grandes cantidades hacia el medio ambiente (Rosario et al, 1997).

La importancia del presente estudio radica principalmente en que no se han realizado estudios detallados de contaminación por mercurio en esta zona geográfica del Perú donde se ha desarrollado la actividad minería aurífera aluvial desde los años 60 y también por presentar el río Malinowsky una zona de

frontera natural entre la Reserva Nacional Tambopata y la Zona de Amortiguamiento lugares de gran importancia tanto biológica como cultural que alberga distintas especies de flora y fauna típica de la zona.

En base a estas consideraciones, el objetivo específico que persigue el presente estudio es la determinación de mercurio total en peces, agua y sedimento, en la cuenca del río Malinowsky; así como determinar las especies y los lugares más contaminados por este metal a lo largo del mencionado río.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA.

2.1 EL METAL MERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE

El mercurio es un elemento natural que es expulsado por los volcanes, se evapora de los cuerpos de agua y asciende en forma de gas desde la corteza terrestre. Eventualmente cae sobre la tierra en el agua de lluvia, para depositarse en suelos y sedimentos, océanos y lagos (Johnson, 2003).

El mercurio o azogue es un metal líquido, brillante y pesado, que se obtiene generalmente a partir del cinabrio (sulfuro de mercurio) (Brack et al, sin año). La Tabla 1 muestra las propiedades físico químicas del mercurio.

Tabla 1. - Propiedades físico químicas del mercurio

SIMBOLO	Hg
CLASIFICACION	Metales de Transición grupo 12
PUNTO DE FUSION	- 38 °C
PUNTO DE EBULLICION	356.73 °C
DENSIDAD kg/m³	1,354
VOLUMEN ATOMICO (cm³/mol)	14.81
ESTRUCTURA CRISTALINA	Romboédrica
COLOR	Blanco plateado

Fuente: Jimenez, 2001

El mercurio es estable al aire si es puro, recubriéndose de una capa gris de óxido si es impuro. Forma fácilmente aleaciones con muchos metales ejemplo: el oro, la plata, el estaño, denominadas amalgamas. Precisamente, la facilidad con que se amalgama con el oro se utiliza para obtener el metal precioso de sus fuentes (Rendiles, 2002). Análisis del contenido de mercurio en los meteoritos dan valores del orden de unas 100 veces superiores a los de la corteza terrestre. Como los meteoritos tienen una composición parecida a la de las capas más internas de la Tierra, esto nos indica que el mercurio debe estar concentrado en su interior (Monteagudo, 2001).

El mercurio entra en el ambiente como resultado de la ruptura de minerales de rocas y suelos a través de la exposición al viento y agua. La liberación de

mercurio desde fuentes naturales ha permanecido en el mismo nivel a través de los años. Todavía las concentraciones de mercurio en el medio ambiente están creciendo; esto es debido a la actividad humana (Lenntech, sin año).

El mercurio es un metal pesado que fácilmente se vaporiza y existe en tres formas básicas según el estado de valencia en que se puede presentar y los compuestos que puede formar con otros elementos: Mercurio elemental, inorgánico y orgánico. Estas formas difieren en sus características químicas y toxicológicas. Su peligro inminente radica en la forma en que su ciclo global puede alterarse debido a otras emisiones producidas por el hombre. La Figura 1 presenta de manera resumida el ciclo del mercurio y la forma como ocurre el intercambio de especies mercuriales de acuerdo al medio en que se encuentran (Hruschka, 2000).

El mercurio terrestre tiene un origen magmático, emanando como un producto de desgasificación a lo largo de fallas profundas, proceso que continua en la actualidad. De este modo, el mercurio inicia su ciclo geoquímico pasando a la corteza terrestre y de esta al aire, al agua y suelos, para pasar posteriormente a las plantas y a los animales y por ultimo, al hombre (Monteagudo, 2001).

El mercurio es un metal ampliamente distribuido en el medio ambiente debido a las emisiones naturales y a su utilización por el hombre desde la edad antigua. En el medio ambiente se puede encontrar como mercurio metálico, formando parte de una sal inorgánica o como un compuesto organomercurial. La presencia de una u otra forma depende de diversos factores, y además tanto en el medio ambiente como en el organismo se pueden transformar unas en otras mediante reacciones de óxido-reducción y de metilación, reacciones en las que pueden intervenir algunos microorganismos (Biopsicología, 2003).

Las formas naturales predominantes de mercurio en la atmósfera y el agua son el mercurio elemental (Hg^0), y los iones mercúricos (Hg^{+2}), mientras que el cinabrio (HgS) es común en los suelos mineralizados, y los sedimentos anaerobios (D'Ittri, 1992). Mas del 90% del mercurio presente en los sistemas lacustres se encuentra presente en los sedimentos (Nriagu, 1991).

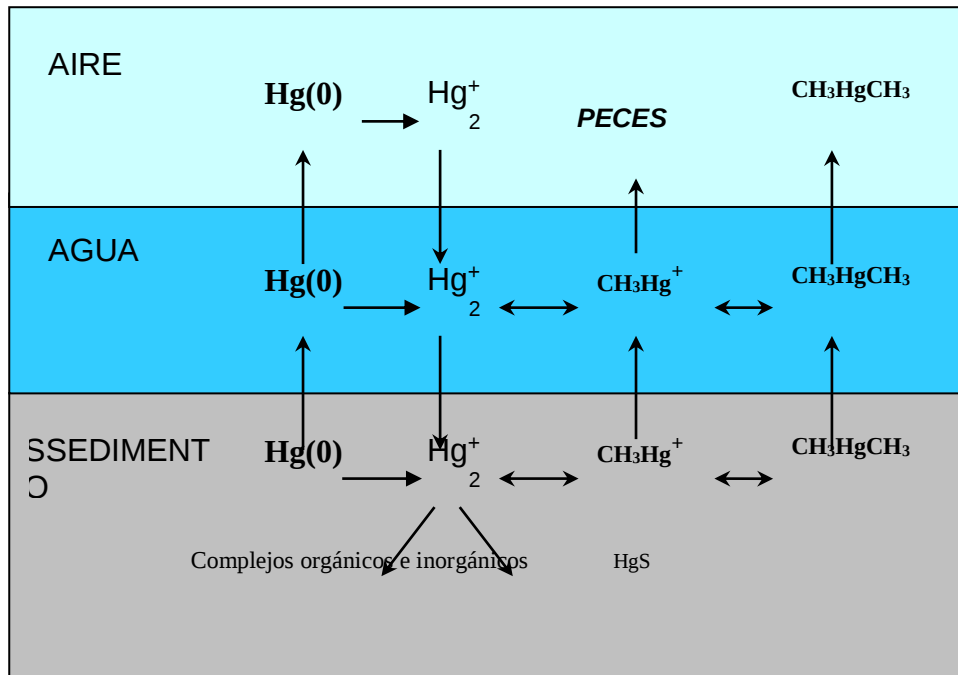


Figura 1.- Esquema resumido del ciclo del mercurio.

Tanto las formas inorgánicas del mercurio como las formas orgánicas son interconvertidas y transformadas en el medio ambiente. Las formas inorgánicas sufren transformaciones principalmente por reacciones oxido reducción (D'litri, 1992).

Por lo general el mercurio depositado en los cuerpos de agua por precipitación y escurrimiento se encuentra unido a la capa de humus del suelo y está presente en los sistemas acuáticos (Hruschka, 2001). Los índices de metilación más altos ocurren en la capa superior de los sedimentos orgánicos ya que la mayoría de la población microbiana responsable de la síntesis de CH_3Hg^+ se encuentra en esta zona. (D'litri, 1992).

2.2 USOS Y APLICACIÓN DEL MERCURIO

El mercurio se utiliza en la industria para la manufactura de equipos eléctricos y científicos. Su uso en conservadores de semillas, pinturas y cosméticos se han restringido en algunos países, pero todavía existen muchas compañías que lo utilizan (Königsberg, sin año).

Es usado ampliamente en la industria para la fabricación de cloro y soda, como componente para el tratamiento de semillas, en la industria electrónica, y en la separación del polvo de oro en los lavaderos de ese metal (Brack et al, sin año). En la agricultura se elaboran fungicidas en base a compuestos organomercuriales (Geocities, 2001)

El mercurio se usa en los instrumentos de laboratorio como termómetros, barómetros, bombas de difusión y otros instrumentos. Como aplicaciones eléctricas, se usa para la fabricación de lámparas de vapor de mercurio para iluminación y anuncios luminosos, interruptores líquidos y otros dispositivos electrónicos. Otros usos: fabricación de pesticidas, pinturas antisuciedad, pilas, baterías, pilas y como catalizador (Jiménez, 2001).

Otro uso muy controvertido son las amalgamas dentales, ya que éstas desprenden vapores tóxicos que afectan principalmente a los dentistas y técnicos dentales (Konigsberg, sin año).

En el campo médico, el mercurio se utiliza en los dispositivos para medir la presión sanguínea, en las sondas de alimentación y en los dilatadores, así como en las baterías y lámparas fluorescentes. Debido el uso tan amplio de estos dispositivos, los desperdicios médicos pueden representar hasta el 20% del mercurio contenido en el total de los desperdicios sólidos (Aamma, 2001).

El mercurio metálico se usa en interruptores eléctricos como material líquido de contacto, como fluido de trabajo en bombas de difusión en técnicas de vacío, en la fabricación de rectificadores de vapor de mercurio, tacómetros y termostatos y en la manufactura de lámparas de vapor de mercurio. Los electrodos normales de Calomel son importantes en electroquímica; se usan como electrodos de referencia en la medición de potenciales, en titulaciones potenciométricas y en la celda normal de Weston (Lenntech, sin año).

Igualmente su aplicación se extiende a:

- Antisépticos usados en la medicina.
- Combustión de fósiles (aceite y carbón) que contienen trazas de Hg.

- Refinación del mercurio de los minerales.
- Uso en la recuperación de otros metales, en proceso de refinación (ej. : oro).
- Pinturas a prueba de corrosión.
- El Hg o sus sales utilizadas en como catalizadores, en la producción de acetaldehído ó cloruro de vinilo.

2.3 CONTAMINACIÓN POR MERCURIO

La contaminación por mercurio es un problema creciente que causa cada vez más preocupación. Este metal es liberado a la atmósfera por los volcanes, los incendios forestales, la combustión del carbón, etc. Puede depositarse en lagos y ríos, donde se acumulará finalmente en los tejidos de los peces (Barrameda, 2003).

Las principales fuentes de contaminación por mercurio son las fuentes naturales, debido a los desprendimientos o el desgaste de la corteza terrestre y, la causada por el hombre, también llamada antropogénica, siendo ésta la más abundante del total, en un 75% (Ambientum, 2001).

La minería a pequeña escala, donde el mercurio se usa para ayudar a extraer oro y plata, es otra fuente principal de contaminación, liberando entre 400 y 500 toneladas de mercurio cada año (Mundoacuatico, 2003).

El mercurio afecta nocivamente a los seres vivos al momento que pasa a ser parte de la cadena alimenticia a través de organismos acuáticos que son consumidos por peces pequeños. Los peces más grandes al comer peces pequeños contaminados de mercurio así como otros en la cadena alimenticia, hacen que la contaminación de mercurio se concentre cada vez mas, finalmente convirtiéndose, potencialmente peligrosa para las personas. (NJDEP, 2002)

Se considera que la mitad del mercurio extraído es arrojado al medio ambiente, una parte en forma de vapor a la atmósfera y la otra de desechos industriales al suelo y al agua (Geocities, 2001).

Datos oficiales implican que por cada kilogramo de oro, al final 1,32 kilogramos de Hg son soltados al medio (Ambio,1990).

La contaminación del medio ambiente por mercurio es producida por industrias químicas que producen cloro, fábricas de fungicidas y de pinturas contra hongos, de plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio, HgS), en la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo (Geocities, 2001). En el medio acuoso presentan una elevada biodisponibilidad y son fácilmente absorbidos por la biota acuática. (Biodisponibilidad: capacidad de interacción con el sistema biológico) (QHH, sin año).

Debido a que el calor no llega a destruir al mercurio, éste se libera al ambiente. Se bioacumula en tejido muscular (sobre todo en peces), depositándose como inerte o transformándose en metil-mercurio, su forma orgánica. Llega al hombre a través de la cadena alimenticia (Gerenciambiental, 2002).

El mercurio no puede destruirse mediante la incineración. Después de su liberación al aire por el humo de las chimeneas, el mercurio se deposita de nuevo en la tierra o en las aguas superficiales, donde permanecerá indefinidamente (Aamma 2001).

Los peces y otros organismos acuáticos también asimilan el mercurio a través de las agallas, la respiración o la alimentación (D'Itri, 1992).

Uno de los principales problemas del agente contaminante mercurio está en que se metiliza por la acción de bacterias y de hongos (Deza, 1996; D'Itri, 1992 y Geocities, 2001).

2.4 LA MINERÍA EN MADRE DE DIOS

Junto al enorme potencial biológico y turístico, la zona también presenta un gran potencial aurífero: sus reservas se estiman entre 250 y 300 toneladas de oro por

un valor de unos 3,500 millones de dólares que al ritmo de explotación actual implican trabajo por mas de 25 años (GRADE, 1994).

Según Pautrat (2001) la explotación aurífera aluvial en Madre de Dios se inicia a finales de los años 50, con la entrada de los primeros buscadores de oro provenientes de Cuzco y Puno. Según Deza (1996) se estima que 30,000 personas se dedican exclusivamente a la minería en el Departamento de Madre de Dios.

Un acontecimiento trascendental en el auge de la explotación aurífera se debió principalmente al aumento del precio del oro desde los años 70 y a las condiciones de pobreza (Deza, 1996).

En el Departamento de Madre de Dios la modalidad de minería que más se practica es la minería artesanal. La Minería Artesanal es una actividad que toma gran impulso a partir de los años 70 en un contexto de precios altos del oro, alimentada por procesos migratorios generados por la recesión económica, la crisis del campo y los principios de la violencia política (GRADE 1994).

La minería artesanal, en Madre de Dios, es migratoria es decir cuando se agota el recurso los mineros artesanales migran hacia zonas donde todavía no se ha explotado el recurso o donde recién se esta comenzando a explotar. (Pautrat, 2001)

Por varios años la actividad minera ha constituido la actividad económica de mayor dinamismo en el Departamento debido a la alta rentabilidad de la minería en comparación a las actividades agropecuarias, las cuales han sido dejadas únicamente para la población residente. La zona aurífera de Madre de Dios comprende las cuencas y las sub cuencas del río Madre de Dios, Inambari, Colorado, Tambopata y Malinowsky (Mora, 1995).

A lo largo de los años las tecnologías se han ido sofisticando, lo que ha permitido incrementar los volúmenes extraídos pero que también ha contribuido a la rápida degradación del medio ambiente debido a las contaminaciones por mercurio,

deforestación contaminación por hidrocarburos, compactación del suelo, etc. (Pautrat, 2001).

Se estima que la producción de oro de origen aluvial a partir del año 1993 bordea las diez toneladas anuales y que el valor bruto de la producción aurífera ascendería a unos \$ 110 millones de dólares americanos (Medina, 2001). La Tabla 2 muestra la producción de oro aluvial producido en el departamento de Madre de Dios entre los años 1990 – 2002.

Tabla 2.- Producción de oro aluvial en el departamento de madre de dios en el periodo 1990-2002.

AÑO	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	TOTAL
TM	6.5	6.5	7.5	9.6	9.6	9.6	9.3	9.3	9.3	11.6	11.3	10.8	10.8	122.3

Fuente: Producción de oro aluvial en Madre de Dios (MEM 2003).

2.4.1 LA MINERÍA EN EL RÍO MALINOWSKY

Según Llosa (1995) la contaminación por mercurio es el principal daño ambiental que ocasionan los mineros artesanales del río Malinowsky. Esta se produce por el deficiente manipuleo del mercurio durante el proceso metalúrgico y el supuesto desconocimiento de los daños que ocasiona a la salud y al medio ambiente.

La minería en el río Malinowsky se inicia a principios de los años 50 debido principalmente a los acontecimientos citados anteriormente, los primeros mineros se asentaron a lo largo de las riberas del río Malinowsky (Com. pers. Armando Carpio y Ruperto Choque, Marzo, 2003).

Con poca inversión y trabajo intensivo que llega inclusive a la explotación infantil en algunos casos, la minería artesanal en el río Malinowsky explota yacimientos auríferos presentes en las playas con métodos artesanales como canaleta, dragas, arrastre, carancheras, de los ríos e inclusive monte adentro mediante el método de la “*chupadera*” y del método semi-mecanizado de cargadores frontales o “chute” (GRADE, 1994).

La modalidad de minería artesanal utiliza tecnologías sencillas de bajo costo y de rápido reemplazo en caso de averías, es por ese motivo que se puede desarrollar en diversas zonas inclusive en zonas alejadas y de difícil topografía ya que los materiales utilizados son fácilmente transportables (vía fluvial o terrestre). (Com. per. Alfonso Espinoza y Félix Silva; Febrero, 2003).

Desde los años 80 se ubico al río Malinowsky como uno de los ríos que presentaba una de las mayores concentraciones de oro de todo el Departamento, con estudios realizados por la Dirección de Energía y Minas del Departamento de Madre de Dios en 1981 se llego a que los valores de ley promedio para los placeres de oro del río Malinowsky está dentro de los mas altos por no decir el mas alto 0.3-0.8 gr/m³ (Tabla 3).

Tabla 3.- Valores de ley promedios para los placeres de oro de Madre de Dios

CUENCA	LEY PROMEDIO (gr/m³)
Desembocadura del Inambari	>0.5
Oeste del río Las Piedras	> 0.6
Huaypetue	0.205
Río Malinowsky	0.3 – 0.8
Cuenca baja del río Madre de Dios	0.31

Fuente: Pautrat, 2001

♦ Asociaciones de mineros del río Malinowsky

En la actualidad se encuentran ubicadas a lo largo de este río 05 asociaciones cuya actividad básica o primordial es la minería aurífera aluvial, las que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4.- Asociaciones de mineros que trabajan en el río Malinowsky

Asociación	Siglas	Año de creación
Asociación de Agricultores Mineros Artesanales y de turismo Social del río Malinowsky	AMAITUS	1967
Asociación de Productores Agrarios y Lavaderos Artesanales de Oro del río Malinowsky	APAYLOM	1978
Asociación de Mineros Artesanales Tauro – Fátima	AMATAF	1998
Asociación de Mineros Artesanales y Agrícolas Tambopata- Boca Malinowsky	AMATABON	1978
Asociación de mineros Auríferos del bajo Kotzimba	AMABACO	1990

Para la extracción del oro en este río principalmente se utilizan tres técnicas diferentes; la aplicación de cualquiera de estas técnicas dependerá de la ubicación en donde se desea realizar la actividad minera (río, playa, monte), potencial del sedimento mineralizado, sobrecarga, altura de afloramiento, gravedad, agua y principalmente capacidad económica del minero (Trillo, 1995). Las fotos de los distintos métodos de extracción de oro del río Malinowsky se muestran en el Anexo 1.

a) Método artesanal

Aquellos donde interviene el trabajo manual tanto para la extracción del material como para la recuperación del mismo, como son el método de carretilla, de canaleta, de ingenio.

b) Método Semi-mecanizado

Aquellos donde el trabajo manual interviene esencialmente en el proceso de recuperación. En este grupo se tiene a las operaciones de “Chute” y a las Dragas tipo Lanza o Escareante que usan mangueras de succión de diversos diámetros (8”, 10” y 12”) (GRADE, 1994).

Serian como ejemplo el método de chute o cargador frontal, dragas, chupaderas,

c) Métodos Mecanizados

Aquellos donde no interviene el trabajo manual en ninguna de las etapas de la operación.

Este tipo de operación es casi desconocida en la cuenca del río Malinowsky debido a su fuerte inversión económica para empezar y mantener la operatividad de la misma.

2.4.2 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DE LA CUENCA DEL RÍO MALINOWSKY

a) Precipitación

- Las lluvias en el área del estudio se incrementan en dirección NE a SO, guardando relación con el alineamiento de la cordillera de los andes (MEM, 1997).
- El río Malinowsky presenta dos zonas pluviales de gran diferencia en cuanto a precipitaciones, ambas pertenecen al sector sur – oriental del Departamento pero presentan dos distintas precipitaciones debido fundamentalmente a su altitud y a la cercanía a la cordillera de Carabaya: a) La cabecera del río Malinowsky con una altura promedio de 500 msnm, correspondiente a las estribaciones de la cordillera de Carabaya la precipitación pluvial promedio anual es de alrededor de los 4,000 mm. b) La parte media y baja del río Malinowsky con una altura promedio de 200 msnm se encuentra una precipitación pluvial de 2,500 a 3,000 mm de promedio anual (MEM, 1997).

b) Temperatura

La temperatura se incrementa en sentido geográfico SO a NE así se observa que cerca de las estribaciones de la sierra de Carabaya es decir la cabecera del río Malinowsky la temperatura promedio anual es de 23°C y enrumbando hacia la parte media y desembocadura del río la temperatura aumenta hasta los 26°C de temperatura promedio anual (Dirección General de Asuntos Ambientales, 1997), (Chang, F; 1998).

2.4.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RÍO MALINOWSKY

El río Malinowsky es el principal afluente del río Tambopata desembocando en este por su margen izquierda. En el anexo 2 se muestra una vista panorámica del río Malinowsky.

a) Longitud

El río Malinowsky presenta una longitud de 85 Km. Presenta un recorrido sinuoso es decir a lo largo de su recorrido se encuentran un sin numero de vueltas (Dirección General de Asuntos Ambientales, 1997).

b) Profundidad

La profundidad media de este río varia de acuerdo a la ubicación con respecto a la cabecera; en la cabecera misma del río Malinowsky la profundidad media varia entre los 1-1.5 metros de profundidad y en las partes media hasta la desembocadura en el río Tambopata puede llegar a alcanzar entre lo 2.5 – 3.5 metros de profundidad (Dirección General de Asuntos Ambientales, 1997).

c) Ancho

El río Malinowsky presenta un ancho que varia entre los 40 hasta los 70 metros.

d) Coloración

En la época de vaciante las aguas de la cabecera de este río presentan una coloración clara e inclusive en algunas partes es de color transparente.

En la época de lluvias o de creciente la coloración de este río se torna de una coloración arcillosa llegando inclusive, según la magnitud de las lluvias y posterior crecida del río con su consecuente acarreamiento de material, a tornarse a un color rojo ladrillo intenso (Dirección General de Asuntos Ambientales, 1997 y Chang, 1998).

e) Afluentes

El río Malinowsky presenta dos tipos de afluentes: afluentes mayores y afluentes menores.

En cuanto a sus afluentes mayores destacan por su margen izquierda: el río Manuani y por su margen derecha: el río Malinowskillo, el río Azul y el río Pumahuaca.

En cuanto a sus afluentes menores descienden de las quebradas adyacentes a este río; estas quebradas son la Quebrada Pensión Venado, Quebrada Shushupe, Quebrada Huasaco, Quebrada Lipete, Quebrada Tigre, Quebrada San Martín, Quebrada Colmena, Quebrada Farfán, Quebrada Yarinal y Quebrada Aguas Negras.

Varios de estos afluentes descienden desde la cordillera de Carabaya en Puno y otros afluentes son formaciones producto de varios cursos de agua que desembocan en el Malinowsky después de recorrer varios kilómetros como es el caso de los ríos Malinowskillo y Azul. (Dirección General de Asuntos Ambientales, 1997 y Chang, 1998).

f) Parámetros limnológicos del río Malinowsky

Estos se presentan en la tabla 5

Tabla 5.- Parámetros limnológicos que presenta anualmente el río Malinowsky

PARÁMETRO	RANGO
ph	5.5 – 8.5 (1), (2), (3)
Oxígeno	6 – 8 mg/L (1), (2), (3)
Sólidos Totales Disueltos	10 – 40 mg/L (1), (3)
Temperatura	23 – 34 °C (1), (2), (3)
Conductividad	20 – 80 us/cm (1), (2)

(1) Com. per. Ing. Química Carmen Quispe, Marzo, 2003; (2) EMAPAT 1988 y (3) Chang,1998.

2.5 EL MERCURIO EN LA MINERÍA

El mercurio es un elemento ampliamente utilizado para extraer oro de sedimentos y suelos en Perú, Brasil, Venezuela, Filipinas, Ecuador, Colombia e Indonesia. El mercurio se añade a los sedimentos que contienen partículas de oro finamente divididas, tratándose grandes volúmenes de tierra. El oro forma una amalgama que puede ser separada. La amalgama separada, es quemada para volatilizar el mercurio, como resultado, el mercurio entra en la atmósfera (García et al, 2003).

2.5.1 LA AMALGAMACIÓN

La amalgamación es la técnica de utilizar mercurio para atraer pequeñas partículas de oro en polvo y unírsele en una amalgama, o aleación. El oro puede recuperarse separando al mercurio por destilación (OAH, 2000).

En la extracción artesanal, el mercurio forma una amalgama con el oro que se encuentra disperso en el sedimento del lecho del río (NOTICyT, 2003).

♦ El proceso de amalgamación (mezclar el mercurio con las arenillas de oro) sigue los siguientes pasos:

En primer lugar se agrega mercurio en exceso a la arenilla, con la finalidad de captar mas rápidamente las partículas de oro; luego se procede a la amalgamación que frecuentemente es en forma manual (se frota con las manos la arenilla); a veces se utiliza baldes donde además de agua se agrega detergente y mediante movimientos giratorios con las manos o palos se efectúa la amalgamación. Concluida esta, se tiene la arenilla negra conteniendo partículas de amalgama Hg + Au, la cual se procede a separar mediante bateado (bateas), que se efectúa en las orillas de los ríos o en las quebradas o pozas.

Durante este proceso de bateado se pierden partículas de amalgama generándose un primer tipo de contaminación por mercurio que afecta directamente al medio acuático.

Obtenida la amalgama esta es exprimida con una tela para recuperar el exceso de mercurio, obteniéndose un “botón” de Hg + Au en el que quedan a una relación en peso de 2:1.

En el proceso de amalgamación del oro se usan diversas cantidades de mercurio (referidas por diversos autores) dependiendo del volumen de oro a trabajar siendo las relaciones mas comunes de que por cada kilogramo de oro se utilizan entre 1,3 a 1,5 kilogramos de mercurio. Por cada kilo de oro producido son utilizados 1,3 kilos de mercurio (Organización Panamericana de la Salud, sin año); estos resultados se muestran en la Tabla 6.

La utilización de mercurio, en el proceso de amalgamación; por la sencillez de su técnica, su relativa eficacia y poca inversión; es el método más difundido, preferido y aplicado por los mineros artesanales y lavadores auríferos peruanos que realizan operaciones ya sea en yacimientos primarios (vetas) o secundarios y en distintas circunscripciones con filiación aurífera del territorio peruano (Medina, 2001).

Los procesos de amalgamación, pese a sus implicaciones nocivas sobre el entorno ecológico, incluyendo al hombre mismo, son muy difundidos en gran parte de los países de Latinoamérica, Asia y Africa. La razón es que estos procesos son tan simples y económicos, que no existen otros sustitutos que

ofrezcan esas ventajas y proporcionen los mismos resultados desde el punto de vista beneficio (Guerrero, et al; sin año).

En la Tabla 6 se muestran las diferentes proporciones entre la producción de oro y el mercurio utilizado para el mismo fin.

Tabla 6.- Producción de oro y de utilización de mercurio

Zonas	Producción Oro (Kg.)	Utilización Hg. en amalgama (Kg.)
Norte: Cajamarca	546	1,092
Ica – Ayacucho – Arequipa	2,208	4,416
Madre de Dios	10,606	21,212
Puno	3,140	6,280
Artesanal y Lavaderos a nivel nacional	16,500	33,000

Fuente: Medina, 2001

2.5.2 LA QUEMADA DE ORO

El mercurio se evapora a una temperatura de alrededor de 360 °C. Por lo tanto, la amalgama debe ser calentada a una temperatura lo suficientemente mas alta para evaporar el mercurio. El oro permanece en el recipiente calentado como producto final. Desgraciadamente, esta separación térmica es muchas veces practicada de una manera muy directa y elemental, a "crisol abierto" o "quema" abierta, liberando el vapor de mercurio altamente tóxico directamente a la atmósfera, contaminando el medio ambiente, poniendo en peligro la salud del trabajador y de la población que habita en el entorno.

Por lo general, para este propósito se utilizan calentadores a gas o sopletes de diferente índole. La mayor parte del mercurio vaporizado se asienta en los alrededores del lugar de la quema (normalmente el campamento minero), contaminando suelos, alimentos, y seres vivos del lugar. Con el tiempo y las lluvias, el mercurio sedimentado en la capa superficial de la tierra, es transportado a los ríos próximos. En muchos casos, la amalgama se quema dentro la vivienda o la cocina del minero (Wotruba, et al 2000).

La separación de oro y mercurio para obtener el producto final es generalmente el último paso que realizan los mineros antes de vender su oro. Al contrario de las emisiones por el uso del mercurio en circuito cerrado - las cuales afectan generalmente muy poco a los mismos mineros - las emisiones que se producen en este paso del proceso (generalmente la "quema" de amalgama) constituyen - aparte de ser un impacto ambiental negativo- un alto riesgo para la salud de los operadores, que inhalan vapores de mercurio (Hruschka, 2001).

La separación de la amalgama en sus componentes, oro y mercurio, se la puede realizar por vía térmica o química. Por lo general, en la pequeña minería se prefiere la separación térmica (Wotruba, et al 2000). Para este fin la bolita de $Hg + Au$, es colocada en lata de atún (que muy rara vez le colocan un trapo mojado en la parte superior para recuperar el azogue) y se procede a colocarse sobre fuego o bracero (cocina de minero) produciendo la evaporación del mercurio y obteniéndose el oro (conocido como oro refogado).

Este proceso genera un segundo tipo de contaminación el cual ocasiona el mayor daño ambiental, ya que el mercurio contamina directamente el aire, a las personas en el lugar, el medio ambiente utensilios, comida, paredes, techos, etc. (GRADE 1994). El vapor de mercurio es transportado en el aire, para volver a la tierra mediante la lluvia o por condensación; su destino final más frecuente son las fuentes de agua y la cobertura vegetal aledaña a donde se ha quemado el mercurio. (Llosa, 1995)

La Figura 2 nos muestra en forma resumida el ciclo que sigue el mercurio durante su utilización en la minería aurífera.

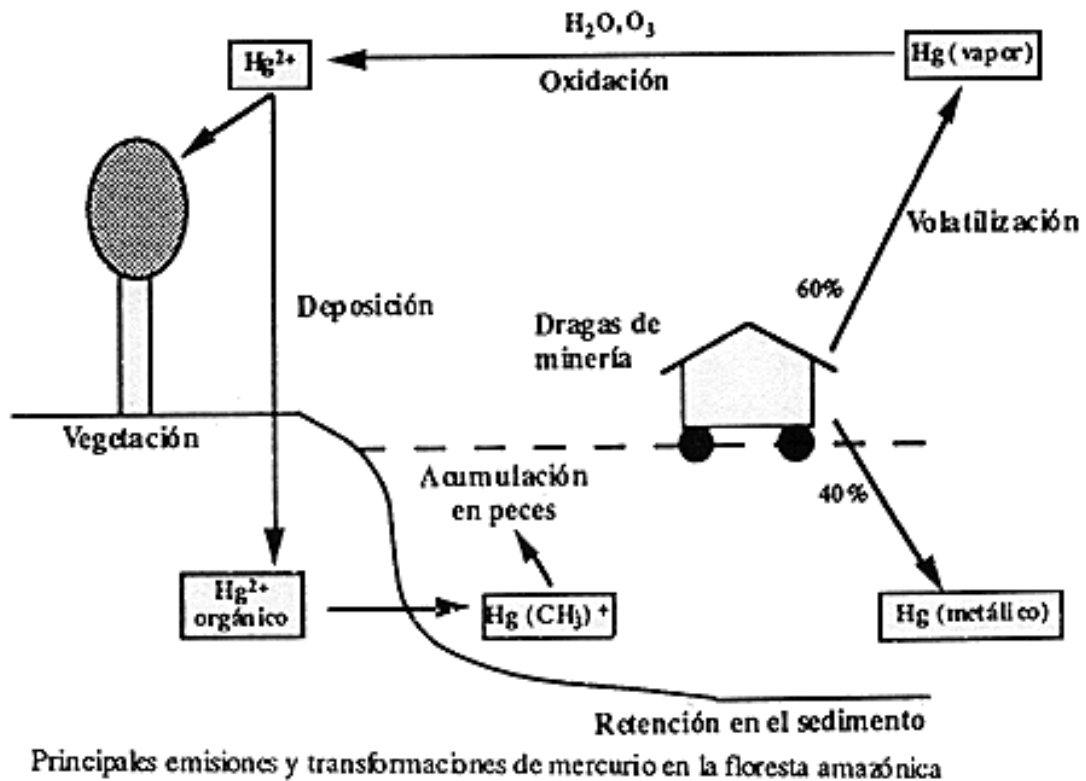


Figura 2.- Ciclo del mercurio liberado en el medio ambiente debido a la minería aurífera aluvial

2.7 REGLAMENTACIÓN

Los límites para las concentraciones permisibles de mercurio así como de otros metales pesados y contaminantes está determinada por la Organización Mundial de la Salud. Y por diversos organismos internacionales dependiendo de cada país.

2.6.1 CONCENTRACIÓN MÁXIMA PERMISIBLE DE MERCURIO PRESENTE EN LAS AGUAS, PECES Y SEDIMENTOS

Desde hace años, la OMS, Organización Mundial de la Salud, se preocupa por los riesgos del mercurio y su influencia en la salud humana, ya que la cadena alimentaria es uno de los puntos en que se concentra este mercurio indeseadamente presente en el ambiente (Ambientum 2001).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), son los organismos encargados de establecer los límites máximos permitidos de contaminantes (Rodríguez, 2003). Para el presente estudio se han utilizado los límites máximos permisibles dictaminados por la O.M.S. debido a que son los que rigen para Perú.

Debido a la ubicación y relación geográfica del río Malinowsky con respecto a la Reserva Nacional Tambopata, (es una de los límites de la Reserva), y también debido a las actividades que se desarrollan en las aguas de este río, (pesca de autoconsumo y comercial); La Ley General de Aguas de Perú estipula para este recurso debido a sus características como agua de uso N° VI “Aguas de Zona de Preservación de Fauna Acuática y Pesca Recreativa o Comercial”. En Base a esta referencia es que se han elaborado las discusiones.

La Tabla 7 nos muestra los límites estipulados tanto por la Ley General de Aguas de Perú para el uso de agua N° VI (en el ítem referido a mercurio en el agua); y los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) para mercurio en peces y sedimento.

Tabla 7.- Límites máximos permisibles para agua peces y sedimento según la O.M.S. y la Ley General de Aguas de Perú.

	Agua <i>Ley General de Aguas (uso N° VI) Perú.</i>	Peces <i>Organización mundial de la Salud.</i>	Sedimento <i>Organización mundial de la Salud.</i>
Limite máximo permisible	0.0002 mg/L	0.5 mg/Kg	0.1 mg/Kg

La Tabla 8 nos muestra los diferentes limites máximos permisibles de mercurio total para pescado en diferentes países del mundo.

Tabla 8.- Límites Máximos Permisibles para distintos países con referencia al mercurio en peces.

PAIS	TIPO DE PESCADO	CONCENTRACION DE MERCURIO (ug/Kg.)
Estados Unidos	Pescado Estándar	1000
Brasil	Pescado Estándar	500
Canadá	Pescado Estándar	500
Dinamarca	Pescado Estándar	500
Ecuador	Pescado Estándar	1000
Finlandia	Pescado Estándar	1000
Francia	Mariscos	500 – 700
Alemania	Pescado Estándar	1000
Grecia	Pescado Estándar	700
India	Pescado Estándar	500
Italia	Pescado Estándar	700
Japón	Pescado Estándar	300
Países Bajos	Mariscos	1000
España	Pescado Estándar	500
Suecia	Pescado Estándar	1000
Suiza	Pescado Estándar	500
Tailandia	Pescado Estándar	500
Venezuela	Mariscos	500
Zambia	Pescado Estándar	300
Australia	Pescado Estándar	500
*Perú	Pescado	500

Fuente: Nauen, 1983.

***El dato de Perú ha sido insertado a la tabla original.**

2.8 MERCURIO EN LA SALUD HUMANA

El mercurio es un metal clasificado en el grupo de los metales pesados, metales que poseen una elevada toxicidad, para personas y animales. Esta sustancia hay que diferenciarla en sus presentaciones químicas para poder inferir su posible toxicidad. Si la presentación química es como tal mercurio mineral (Hg), la toxicidad es relativamente baja debido a que los organismos animales no tienen tanta capacidad para poder absorberlo en su intestino. Debido a que es un metal pesado de difícil disolución y absorción, que tras pasar al torrente circulatorio suele ser eliminado por vía renal no dando problemas, salvo que la concentración ingerida sea muy elevada (Rodríguez, 2002).

Dentro de los metales pesados el mercurio es considerado el mas tóxico, desde el punto de vista toxicólogo la ingestión de alimentos conteniendo mercurio y la inhalación de vapores de mercurio metálico representan los mayores riesgos de intoxicación (WHO, 1991).

En el caso del vapor de mercurio, aproximadamente el 80% del mercurio inhalado durante el quemado de la amalgama es reabsorbido por los pulmones del organismo humano. Generalmente, la exposición a vapores de mercurio genera envenenamiento crónico, siendo los principales síntomas a corto plazo: cólicos, vómitos, dolores de riñones y uretra, inflamación del intestino, heridas en las encías y fotofobia (Gómez, 1994).

La conocida enfermedad de Minamata fue producto del mercurio arrojado a esta bahía por la Chisso Corporation, Los peces muertos constituyeron el primer indicio de que había algo pernicioso en la bahía de Yatsushiro (Japón). Luego, los cuervos empezaron a caer del cielo. Los siguientes fueron los gatos de Minamata, en la isla de Kyushu. Ciegos y rígidos, giraban en forma grotesca y se tiraban a la bahía. Tras la desaparición de los gatos, los roedores proliferaron pero la enfermedad “del baile” pronto eliminó también a las ratas. Por fin, la misteriosa plaga alcanzó a las personas, murieron más de un centenar y muchos quedaron ciegos y lisiados (Navarro, 1999).

En Iraq, entre 1971 y 1972 cientos de personas murieron y muchos fueron hospitalizados después de comer un pan hecho con 90.000 toneladas de semillas de trigo importado que estaba previsto para plantar y había sido tratado con fungicida de alquilmercurio. Las bolsas de las semillas fueron etiquetadas para no ser comidas pero la advertencia fue hecha en español. El pan contenía en promedio 7900 ug/Kg de Metilmercurio (Hruschka, 2000).

Los compuestos de mercurio llegan al ser humano por los alimentos y el agua, especialmente a través del consumo de peces contaminados. Reaccionan con muchas enzimas del cuerpo humano e inhiben una serie de mecanismos metabólicos esenciales, y afectan seriamente al sistema nervioso y producen mutaciones genéticas y muerte, fetal y del propio individuo ya que estos compuestos pueden permanecer por bastante tiempo dentro del organismo antes de ser eliminados (Tabla 9), (Brack et al, sin año).

Tabla 9.- Tiempo de vida del mercurio en el organismo humano.

Compuesto mercurio	Vida media biológica organismo en conjunto	Vida media biológica en órganos y tejidos
Mercurio inorgánico	Mujeres: 29 a 41 días Media: 37 días	Sangre: 20 a 28 días
	Hombres: 32 a 60 días media: 48 días	
Mercurio elemental	35 a 90 días Media: 60 días	Pulmón: 1,7 días Riñón: 64 días Cerebro > 1 año

Fuente: Monteagudo, 2001.

A pesar de los efectos tóxicos provocados por este metal pesado, poco es lo que se sabe sobre su mecanismo de acción. Además de sus efectos sobre el sistema nervioso a nivel de metabolismo celular, hay evidencias de que interfiere con la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos. Se ha reportado también que se pega a algunas enzimas produciendo daños o muerte celular. Un efecto importante sobre el metabolismo celular es que acelera la frecuencia de divisiones celulares (Konigsberg, sin año).

El mercurio constituye una neurotoxina que afecta al sistema reproductivo, también puede provocar serias consecuencias al feto, afectar al cerebro, al

sistema nervioso, los riñones y al hígado (Consultora M.. Real & Asociados s.a. 1996).

El Mercurio que poseen los termómetros, guías de dilatación y de alimentación, baterías y lámparas fluorescentes convierten en potenciales contaminantes si se los deshecha. Aunque no es destruido por incineración, se deposita como inerte o se transforma en metil mercurio, su forma orgánica, acumulándose en el tejido muscular. Se encuentran en los ríos, lagos, arroyos, mares afectando a los seres vivos que se encuentran en el medio (D`litri, 1992), (Geocities, 2001).

En la actualidad se sabe que uno de los sitios de acumulación de mercurio en el cuerpo humano es el cerebro y sus efectos van desde daños en las funciones sensoriales y visuales, hasta defectos en las transmisiones sinápticas (forma en la que el sistema nervioso manda sus señales) y debilidad muscular (Konisberg, sin año).

El mercurio es uno de los contaminantes más peligrosos por su capacidad de biomagnificación; es decir, sus efectos se acumulan y se transmiten de unas especies biológicas a otras (Konisberg, sin año).

La mayor ingestión de mercurio por parte de los seres humanos generalmente corresponde al consumo de pescado y mariscos (Miller, 2002).

El mercurio llega al cuerpo a través de los siguientes cuatro caminos:

1. Desde la cavidad bucal y nasal llegan vapores de mercurio a la circulación sanguínea y a través de los nervios directamente al cerebro.
2. Los vapores se ingieren parcialmente por el pulmón a través de las vías respiratorias. Así pasan también a la circulación sanguínea, donde se transforma una parte del vapor de mercurio: oxida a iones de mercurio. Una forma del mercurio aún más tóxica que el vapor. Puesto que órganos como el hígado, la bilis el corazón y el riñón trabajan como un filtro sanguíneo, es aquí donde se almacena principalmente el metal tóxico.

3. Cuando masticamos se desprenden partículas de amalgama en su forma metálica todavía inocua y se las traga. La flora intestinal natural transforma estas partículas y el vapor del mercurio en la forma más peligrosa del metal: mercurio metálico. Este proceso se llama metilación. Numerosos experimentos y estudios confirman este proceso. Aún así es desmentido por muchos dentistas y odontólogos. Desde el intestino pasa el mercurio metilico a la circulación sanguínea y finalmente a los órganos.

4. El metal se difunde a través de las encías, las raíces dentales y la mandíbula hasta el sistema nervioso central y el cerebro (Arbiol, sin año).

El mercurio tiene un número de efectos sobre los humanos, que pueden ser todos simplificados en las siguientes principalmente:

- Daño al sistema nervioso,
- Daño a las funciones del cerebro,
- Daño al ADN y cromosoma,
- Reacciones alérgicas, irritación de la piel, cansancio, y dolor de cabeza y también causa efectos negativos en órganos encargados de la reproducción, daño en el espermatozoides, defectos de nacimientos y abortos (Lentech, sin año), (DEQ, 1994).

El mercurio puede entrar en nuestro organismo por comer pescados o crustáceos contaminados con metil-mercurio. Por respirar vapores en el aire de derramamientos, de incineradores, y de las industrias que se queman mercurio contenido en los combustibles. Por el lanzamiento del mercurio de clínicas dentales y de tratamientos médicos, y de algunos rituales paganos que incluyen el mercurio (Librys, 2002).

El mercurio es una neurotoxina muy potente, es decir, que ataca el sistema nervioso central. Puede dañar el cerebro, los riñones y los pulmones. Es capaz de atravesar la barrera hematoencefálica así como la placenta. El metil-mercurio del pescado contaminado atraviesa fácilmente la placenta y penetra en el cerebro del feto en desarrollo. Los estudios realizados en mujeres que consumieron

pescado o cereales contaminados con metil-mercurio han demostrado que, aunque las madres mostraban pocos efectos de la exposición, sus hijos sí mostraron daño en sus sistemas nerviosos (Aamma, 2001).

La forma de intoxicación por mercurio más frecuente en las personas que no se encuentran dentro de los grupos de riesgo ocupacionalmente expuestos, es la ingestión de pescado. Esto se debe a que el medio acuático es uno de los más contaminados. Las fábricas lo desechan y se depositan en el sedimento donde las plantas marinas lo absorben. Los organismos herbívoros que se alimentan de ellas a la vez que se contaminan lo transmiten a los peces de la zona y además animales de las cadenas alimenticias acuáticas como lo son las aves y mamíferos marinos. Este fenómeno la biomagnificación se debe a que el mercurio que absorben los organismos vivos, ya sean plantas, peces u hombres, no se elimina sino que se va acumulando (Konigsberg, sin año).

La forma orgánica del mercurio más nociva o peligrosa para los seres vivos es la del metilmercurio que es generado por la metilación del mercurio producida por bacterias y hongos (INANDES, 1999).

El metil-mercurio, debido a su alta solubilidad en lípidos, se distribuye a través de todo el organismo, debido a su facilidad para atravesar todas las membranas. Los niveles en la sangre se equilibran con los niveles en los tejidos, por lo que la sangre es un buen indicador clínico. Cerca del 90% de todo el metil-mercurio presente en la sangre, se encuentra en los glóbulos rojos, también se concentra en el hígado, el riñón, el cerebro, el cabello y la epidermis (Hruschka, 2000).

Han ocurrido varias epidemias de envenenamiento con mercurio orgánico como resultado de la contaminación ambiental por escapes industriales y uso inadecuado de fumigantes de granos como es el caso de Irak. La liberación de mercurio orgánico en la Bahía Minamata, Japón originó acumulación de metil mercurio en peces y mariscos. Envenenándose miles de personas (enfermedad de Minamata), (Rendiles, 2000).

El metil-mercurio es particularmente venenoso y es responsable de efectos congénitos (Brack, et al, sin año).

El metil-mercurio en humanos ataca principalmente el sistema nervioso y el cerebro. Investigaciones muestran que el cerebro de un feto es 5 a 10 veces más sensible al metilmercurio que el cerebro de un adulto debido a las interferencias químicas con la división y migración de células que se forman en el cerebro y la destrucción de algunas de éstas. El metil-mercurio llega al feto desde la madre a través de la placenta y puede causar daños al feto sin causar síntomas en la progenitora. Uno de los graves problemas es que los síntomas pueden tardar semanas o hasta meses en aparecer después de la exposición al metal. Es importante recalcar que el cuerpo humano libera la mitad de su metil-mercurio en 70 días y continúa disminuyendo la mitad del metil-mercurio cada 2 meses hasta ser eliminado por completo, esto ocurre si no se sigue ingiriendo del compuesto, de lo contrario los tiempos de eliminación serán mucho mayores. (Rodríguez, 2003).

El metilmercurio es altamente peligrosos ya que es absorbido por el ser humano a través de la piel, las mucosas y la vía gastrointestinal (Español, 2001).

El metilmercurio y los vapores metálicos del mercurio son más dañinos que otras formas, porque mayor cantidad de mercurio en esta forma alcanza al cerebro. La exposición a los altos niveles del mercurio metálico, inorgánico, u orgánico puede dañar permanentemente el cerebro, los riñones, y el feto (Librys, 2002).

Los efectos neurotóxicos por la acumulación de mercurio en el organismo se han documentado bien después de los envenenamientos ocurridos en Japón e Irak, en los cuales las personas mostraban síntomas de temblor, entumecimiento de miembros y disturbios sensoriales entre otros, debido a la susceptibilidad única del cerebro al metil-mercurio (Rodríguez, 2003).

2.8 EL METILMERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE

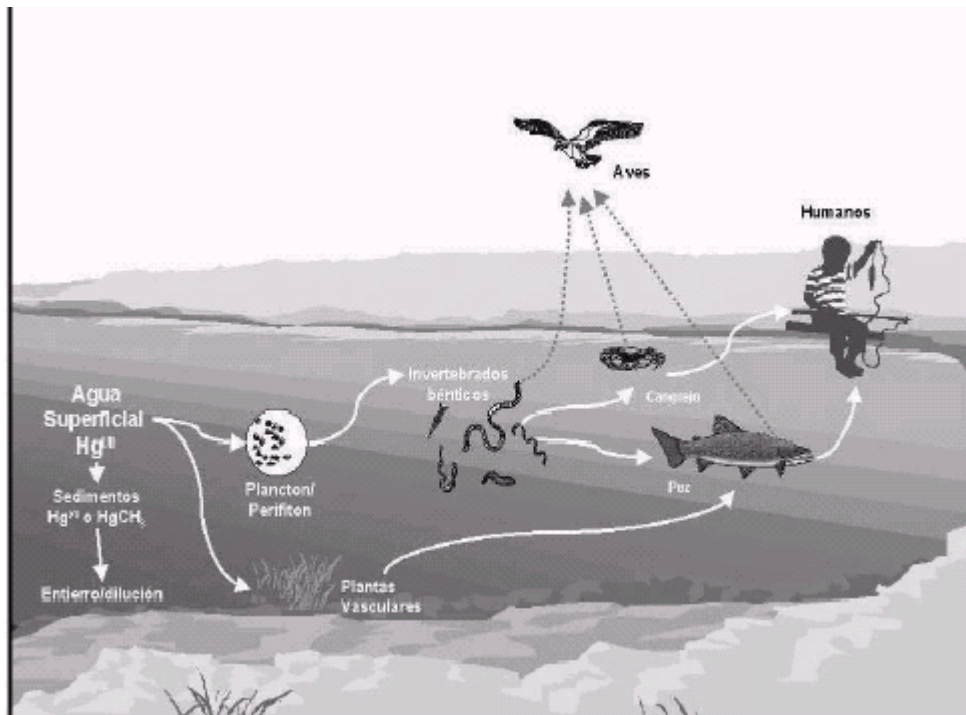
La preocupación ambiental por el Mercurio está asociada principalmente con el metil-mercurio, el cual es el complejo mercurial orgánico más común. El metil-mercurio se forma cuando el Mercurio elemental se libera al ambiente y se transforma a través de los procesos de metilación en complejos orgánicos. Esta transformación está mediada por la interacción con bacterias y otros microorganismos que viven en el suelo, las aguas y los sedimento (Barreto, 2002).

Una vez que el mercurio es liberado en ríos y lagos, las bacterias lo pueden transformar en su forma orgánica, el metilmercurio, que es altamente tóxico y puede ser absorbido por organismos acuáticos microscópicos e insectos que comen los peces. Estos peces sirven de alimento a peces más grandes que, a su vez, sirven de alimento a seres humanos, quienes, en definitiva, reciben la mayor concentración de mercurio (IDRC, 2003).

Una vez que alcanza un ambiente acuático, el mercurio se transforma en metil-mercurio, un potente neurotóxico, que se acumula, por medio de la cadena trófica, en los peces y en las personas y fauna silvestre que se alimenta de ellos (Navarro, 1999).

El vapor de mercurio elemental liberado en la atmósfera, durante la tostación o quemada de la amalgama Au/Hg y vaporizado durante los distintos procesos de extracción de oro, es oxidado a Hg^{++} mediante ozono, energía solar y vapor de agua. Una vez formado, el mercurio iónico Hg^{++} es arrastrado de la atmósfera por las lluvias y depositado sobre ambientes terrestres y acuáticos donde es convertido en metil-mercurio en el suelo. El metil-mercurio puede ser fácilmente transportado del suelo al medio acuático. También se pierde mercurio durante todo el proceso y dicho mercurio termina en los ríos, en donde es fácilmente tomado por el pescado y es al menos 100 veces más tóxico que el Hg metálico (García et al; 2003).

En la Figura 3 se muestra la distribución del mercurio en la cadena trófica.



Fuente: Miller, 2002

Figura 3.- Distribución del mercurio en la cadena trófica

Se ha demostrado que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados (formar metil-mercurio, $\text{H}_3\text{C-Hg-CH}_3$, es muy venenoso) por bacterias anaerobias y aeróbicas en el lodo del fondo de los lagos y también por los peces y los mamíferos (Geocities, sin año).

2.9 ESTUDIOS AMBIENTALES EXISTENTES EN LA ZONA

a) Madre de Dios

♦ **IMA, 1995;** Este estudio se enfoca en diversos ríos del Departamento de Madre de Dios tomándose muestras de agua, sedimentos, peces y seres humanos, para la determinación de mercurio total. Para el caso de agua, sedimento y peces utilizó el método de espectrometría de absorción atómica de vapor frío, arrojando en algunos casos valores por debajo del grado de contaminación impuesto por la Organización Mundial de la Salud, mas para

algunos peces generalmente piscívoros los límites excedieron por demás este parámetro haciéndose peligroso para el consumo humano.

Cabe mencionar que en el caso de que los valores que resultaron por debajo de lo esperado es debido a que se muestreo en épocas cuando recién empezaba la época de extracción aurífera es decir se realizó el monitoreo en épocas de creciente cuando la actividad minera esta casi paralizada.

♦ **GRADE, 1994;** En este estudio se analiza la minería aurífera aluvial tanto en el sentido productivo, económico, operativo, y ambiental. Se hace hincapié en los diversos métodos de extracción de oro e insumos que necesita este tipo de minería así mismo los impactos y sus consecuencias. En cuanto al aspecto social resalta las tendencias socio económicas de los mineros.

♦ **Medina, G. 2001;** En este estudio se analizan los volúmenes de producción de oro en los últimos 10 años de la minería artesanal y pequeña minería así como su participación en la producción anual de oro. En este trabajo se hicieron muestras de agua, de sedimentos y de plantas en el río Inambari. Para la determinación de mercurio total para el caso de agua, sedimento y plantas utilizó el método de espectrometría de absorción atómica de vapor frío arrojando concentraciones por menor de lo que estipula la Organización Mundial de la Salud, excepto una que alcanzo 71.6 ppm que fue en una zona cercana a la zona de amalgamación.

♦ **Hruschka, F. 2001;** Este proyecto se enfoca en la problemática minera mas que nada en el aspecto social, político y operacional enfocando los problemas sociales y ocupacionales de los mismos. Hace mención de diversas técnicas o estrategias a seguir para reducir la contaminación por mercurio tanto para el medio ambiente como para la salud de los mineros que laboran bajo esta modalidad

♦ **Deza, N; 1996;** El presente trabajo de Tesis analiza las diferentes concentraciones de mercurio en 5 especies distintas como son “Dorado”, “Huasaco”, “Carachama”, “Mojarita” y el “Bocachico”. En este trabajo se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica de vapor frío; se demostró la bioacumulación del mercurio en los peces de sobremanera en las especies

piscívoras. Se hizo comparaciones entre los peces del río Manu y peces que habitan en el río Madre de Dios demostrándose un mas alto grado de contaminación los peces que habitan el río Madre de Dios.

b) Malinowsky

♦ **Llosa, G. 1995;** En este estudio se hace referencia a las características físico-geográficas de la cuenca del río Malinowsky y a los principales impactos ambientales causados por la minería aurífera aluvial en el río Malinowsky tales como desbarrancamiento, erosión de suelo, contaminación por vapor de mercurio.

♦ **Trillo, A. 1995;** En este estudio se especifican las formas de extracción de oro bajo las distintas modalidades que existen en la cuenca del río Malinowsky. Se hace mención también acerca de los impactos ambientales observados en esta cuenca producto de la minería aurífera aluvial.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 DE LA ZONA DE ESTUDIO

a) Ubicación

El río Malinowsky esta ubicado a lo largo de los Distritos de Mazuco y Laberinto, en la Provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios. Las coordenadas geográficas de este río abarcan desde los **12°36' S, 69°31' W** hasta los **12°56'S , 69°33' W** (Figura 4).

b) Vías de acceso

Para poder llegar a este río existen dos formas:

- Por la carretera Puerto Maldonado – Mazuco la cual presenta varias trochas que van desde la misma carretera hasta las orillas del río Malinowsky las cuales varían entre 1 a 4 horas de camino a pie.
- Por río surcando el río Tambopata por 5 – 6 horas hasta la boca con el Malinowsky.

3.1.2 ESTACIONES DE MUESTREO.

Las ubicaciones de las estaciones de muestreo se hicieron siguiendo las pautas establecidas en el Protocolo de Monitoreo de Agua del Ministerio de Energía y Minas y también tomando en cuenta la geografía de la zona y su accesibilidad.

Las estaciones de muestreo se ubicaron antes de cada centro minero y después de los mismos, así mismo se ubicaron estaciones antes y después de cada confluencia de cada río de volumen importante.

Un factor que influencio mucho también fue lo referido a la accesibilidad de la zona.

Las estaciones de muestreo seleccionadas para evaluar la concentración de Mercurio total se presentan en la Tabla 10. Las ubicaciones se muestran en la Figura 5.

Tabla 10.- Estaciones de muestreo a lo largo del río Malinowsky

LUGAR	COORD. U.T.M.	ESTACION	MUESTREOS		
			PECES	SEDIMENTO	AGUA
Cabecera Malinowsky	19L 0364555 8550288	A	X	X	X
Río Pumahuaca	19L 0369848 855339	B	X	X	X
Confl. río Malinowsky-Pumahuaca	19L 0370082 8555981	C		X	X
R. medio Malinowsky	19L 0405064 8558507	D	X	X	X
Boca río Malinowskillo	19L 0406569 8556677	E	X	X	X
Confl. río Malinowsky - Malinowskillo	19L 0408058 8556821	F		X	X
Asentamiento minero APAYLOM	19L 0426641 8571274	G		X	X
Boca río Malinowsky	19L 0442662 85569567	H	X	X	X
Río Tambopata	19L 0442320 8568636	I	X	X	X
Confl. río Malinowsky – Tambopata	19L 0443936 8570050	J		X	X

En cada uno de las estaciones de muestreo se tomaron los siguientes parámetros limnológicos:

- Ph,
- Temperatura,
- Conductividad,

- Sólidos disueltos totales
- Oxígeno disuelto,
- Sólidos en suspensión totales

3.1.3 RECURSOS LOGISTICOS.

Para la obtención de las muestras se utilizó una embarcación de 6 metros de largo y un motor tipo peke – peke de 16 HP.

a) Equipos utilizados para evaluar la calidad de agua

- Kit de Oxígeno disuelto modelo LM7417, marca LaMotte. Rango de medición de 0 – 10 mg/L.
- Phmetro digital tipo lapicero Modelo PW1, Marca OAKTON. Rango de medición de 0 – 14; error de +/- 0.1
- Conductímetro digital tipo lapicero Modelo TDSTetr 3, Marca OAKTON. Rango de medición 5 us – 1900 us. +/- 0.5 us.
- Termómetro SinKin Modelo TH21. rango de medición de 0 – 50 °C; error de +/- 0.1°C
- Medidor de Sólidos Disueltos Totales Modelo TW1 Marca LaMotte. Rango de medición. 0ppm – 1900 ppm. error de +/- 0.5 ppm.

b) Materiales utilizados para los muestreos

b.1) Agua

- Botellas de 1 litro para muestras de agua.
- Ácido Nítrico (HNO₃) al 1% para la preservación de las muestras de agua.
- Cooler

b.2) Sedimento

- Envases de 0.5 litros boca ancha para muestras de sedimento.
- Caja de Tecnopor

b.3) Músculo de peces

- Bolsas zip-lock para almacenar el músculo de pescado.
- 01 Cuchillo acero inoxidable para extraer el músculo de los peces.
- Aparejos de pesca: Nylon, anzuelos, plomos, red de pesca.
- Hielo.
- Cooler.
- Cascarilla de arroz.

3.1.4 ESPECIES DE PECES SELECCIONADAS

Para el análisis de mercurio total en el músculo de peces se seleccionaron 05 especies diferentes de tres régimenenes alimenticios distintos: piscívoro, detritívoro y omnívoro que son altamente comercializadas y consumidas por los pobladores de la cuenca de este río y anivel departamental (Mocchco, 2001). Ver foto en Anexo 3.

- **Régimen piscívoro:** Doncella (*Pseudoplatystoma fasciatum*, Linnaeus, 1776, Pimelodae) y Huasaco (*Hoplias Malabaricus*, Bloch 1794, Erythrinidae). (Chang, 1991)
- **Régimen detritívoro:** Bocachico (*Prochidolus nigricans*, Agassiz 1821, Prochilodontidae) y Carachama (*Pterigoplicchthys sp.* Lacepede 1803, Loricaiidae), (Ortega et al, 1992), (Deza 1996).
- **Régimen omnívoro:** Sardina (*Triportheus emargiantus*, Bloch 1794, Characidae), (Ortega et al, 1992).

3.1.5 DETERMINACION ANALITICA.

Las muestras de agua, peces y sedimento para la determinación de mercurio total y sólidos en suspensión fueron analizadas por el laboratorio ENVIROLAB;

- **Peces y Agua**

Para la determinación de mercurio en muestras de agua y peces se uso el método “Determinación de Metales y Trazas de Elementos y Residuos en el agua mediante Espectrometría de Emisión Atómica con plasma acoplado inductivamente. (ICP-GH). Basado en el método EPA, 200.7; Rev. 4.4 Mayo 1994. (Envirolab, 2003). Limite de detección de 0.0002 mg/L.

- **Sedimento**

Para la determinación de mercurio en muestras de sedimento se ha usado el método “Determinación de Metales y Trazas de Elementos en Deshechos, suelos, Lodo, Sedimentos y Otros Deshechos Sólidos mediante la inducción de Plasma Acoplado con Espectrometría de Emisión Atómica (ICP-GH). Basado en el método EPA 6010B Rev. 2 Enero del 1995, (Envirolab, 2003). Limite de detección de 0.01mg/Kg.

- **Sólidos en suspensión**

Para la determinación de los sólidos en suspensión en el agua se utilizó el método “Métodos Estándar para la Examinación de Agua y Residuos de Agua”. Basado en el método SM 2540-D (Sólidos suspendidos totales secados a 103 – 105 °C), (Envirolab, 2003). Limite de detección de 5 mg/l.

3.2 METODOS

3.2.1 PROCEDIMIENTOS DE MUESTREO

Se realizaron 5 salidas de muestreo y se llevaron a cabo en el río Malinowsky y sus afluentes desde Diciembre 2002 a Junio del 2003.

Las muestras fueron tomadas en la época de creciente de los ríos debido a las fuertes lluvias que se presentan en esta época del año en toda la región amazónica y es cuando se incrementa la actividad minera.

Agua

La metodología usada para el muestreo de los parámetros de calidad de agua es la que recomienda el “Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua” del Ministerio

de Energía y Minas, Dirección General de Asuntos Ambientales, Sub-Sector Minería, Volumen 2. Las muestras de agua fueron tomadas en las botellas de 1 Litro y preservadas con ácido nítrico al 1%, luego fueron rotuladas según el lugar donde se habían recolectado y posteriormente fueron almacenadas en el cooler con abundante hielo. En total se colectaron 50 muestras de agua en las 10 estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del río Malinowsky.

Sedimento

Las muestras de sedimentos fueron colectadas con las botellas de 0.5 litros de boca ancha tanto a los bordes del río como en el medio mismo haciendo un total de 15 muestras por estación. Posteriormente fueron rotuladas según la ubicación donde habían sido recolectadas y almacenadas. En total se colectaron 150 muestras de sedimento en las 10 estaciones de muestreo ubicadas a lo largo del río Malinowsky.

Peces

Las muestras de peces fueron obtenidas utilizando los aparejos de pesca. La utilización de los mismos varió de acuerdo a cada especie y dependiendo tanto de las características físicas del pez como de su hábito alimenticio.

Inmediatamente posterior a su pesca se colectó músculo dorsal del pez, el cual fue introducido en bolsas herméticas con cierre zip-lock sin aire en su interior, rotuladas y colocadas en un cooler con hielo para su refrigeración a menos de 4°C; luego al arribar a la ciudad de Puerto Maldonado, las muestras fueron congeladas en un freezer, de donde se enviaron a Lima para su determinación analítica en el laboratorio en un plazo menor a 20 días contados desde su captura hasta su arribo al laboratorio; el protocolo de muestreo de tejidos biológicos pone como máximo de tiempo 30 días desde el muestreo hasta la determinación analítica.

En total fueron colectadas 125 muestras de músculo de pescado. Ver fotos en el Anexo 4.

3.2.2 ANALISIS ESTADISTICO DE LOS RESULTADOS

La información fue sometida a un análisis estadístico demostrativo, hallándose parámetros de estimación central como son:

Tabla de distribución de frecuencia; Con estas tablas se han tabulado los individuos tanto por pesos como por las concentraciones de mercurio total para poder analizar y relacionar ambas variables(Veliz, 2000).

Media aritmética; Se utilizó la media aritmética para obtener un valor promedio de las concentraciones de mercurio total para cada especie (Rubio, 1995).

Desviación estándar; Esta variable nos indicara que tan heterogéneos u homogéneos son los valores de la información recopilada (Veliz, 2000)

Rango; Esta variable nos indicara cual es la diferencia entre la mayor concentración de mercurio total y la menor concentración de mercurio total (Rubio, 1995).

Histogramas; Las frecuencias de los datos que corresponden a variables se representan gráficamente con la finalidad de obtener patrones que indiquen la distribución y tendencia de los mismos. Con los datos expresados en gráficos se podrá observar con mayor claridad los valores de concentración de mercurio total para cada especie y las tendencias de los mismos (Veliz 2000).

Regresión lineal; Este variable nos indicara la relación y/o dependencia entre las variables: peso del pez y concentración de mercurio total del mismo (Rubio, 1995).

IV. RESULTADOS

a) Resultados de los parámetros de calidad de agua

Los valores de los parámetros físico - químicos de Calidad de Agua del río Malinowsky y de sus afluentes se han mantenido dentro de los rangos que se han venido monitoreando hace ya algunos años por EMAPAT (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado) de Puerto Maldonado así como de su Planta de Producción o de Tratamiento y también por parte del Ministerio de Salud con sede en este mismo Departamento, los cuales salen anualmente a tomar muestras de agua, para coleccionar información y analizar los parámetros limnológicos de los diversos ríos que circundan esta ciudad. La Tabla 11 nos muestra los resultados obtenidos en las mediciones limnológicas obtenidas en el río Malinowsky en el transcurso del presente estudio. El anexo 5 muestra los resultados de los promedios de cada parámetro para cada estación de muestreo.

Tabla 11.- Resultados promedios de los parámetros físico – químicos del río Malinowsky

PARAMETRO	RANGO	PROMEDIO
Temperatura	26 – 28.6 °C	27.3 °C
Oxigeno Disuelto	6.6 – 7.3 mg/L	6.9 mg/L
Conductividad	11.6 – 16.6 us	14.1 us
Sólidos Disueltos Totales	5 – 11.6 ppm	8.3 ppm
pH	6.9 – 7.8	7.3
Sólidos en Suspensión	5 – 3342*mg/L	372 mg/L

* Este valor resulta extremadamente alto y la muestra fue tomada después de una fuerte lluvia en la cual hubo bastante erosión del sedimento de las riberas y del cauce del río Malinowsky.

b) ANÁLISIS DE MERCURIO EN PECES

Para cada especie hidrobiológica se extrajo un número variable de individuos, debido principalmente a factores como abundancia de cada especie,

estacionalidad temporal espacial de cada especie, dificultad de captura, clima y nivel de río.

El número total de ejemplares muestreados para análisis de mercurio en el músculo de peces se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. - Número total de muestras para cada especie de pez

Nombre común	Nombre científico	N° Ejemplares muestreados
Doncella	<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	20
Huasaco	<i>Hoplias malabaricus</i>	37
Bocachico	<i>Prochidolus nigricans</i>	23
Carachama	<i>Hypostomus emargiantus</i>	28
Sardina	<i>Triportheus emargiantus</i>	17
Total		125

La Tabla 13 nos muestra las diferentes concentraciones de mercurio total para cada especie hidrobiológica estudiada.

Tabla 13. - Concentración promedio de mercurio total en el músculo dorsal de cada especie estudiada del río Malinowsky

PEZ	HABITO ALIMENTI- CIO	CONCENTRACION DE Hg (ug/Kg).			N	PESO DEL PEZ (gr)		
		VARIABLES				PROM.	S.D.	RANGO
		PROM.	S.D.	RANGO				
Doncella	Piscívoro	274	± 249	40 – 890	20	1,910	± 2210	380- 8100
Huasaco	Piscívoro	276	± 171	60 – 760	37	193	± 140	40- 600
Bocachico	Detritívoro	240	± 222	10 – 750	23	285	± 352	45 - 1300
Carachama	Detritívoro	130	± 110	20 – 470	28	80	± 37.3	40 - 190
Sardina	Omnívoro	198	± 194	20 – 240	17	60	± 20.3	25 - 100
Total	-----	-----	-----	-----	125	-----	-----	-----

Para el Perú la O.M.S. ha recomendado que el límite máximo permisible para concentración de mercurio en el músculo de los peces para consumo humano sea de **500 ug/Kg**.

En los resultados mostrados en la Tabla 13 se ha encontrado una diferencia significativa en los niveles del mercurio total entre algunas de las especies seleccionadas; los valores promedios mas altos se presentaron en los peces Doncella y Huasaco con 274 ug/Kg y 276 ug/Kg respectivamente (ambos piscivoros); la especie que presenta el valor promedio mas bajo es el de la Carachama con 130 ug/kg (detritivoro).

Las especies piscívoras Huasaco y Doncella presentan por su posición en la cadena trófica una mayor concentración de mercurio, debido probablemente, al efecto de bioacumulación y biomagnificación, ya que al ser piscívoros están ingiriendo peces en su dieta diaria contaminados con Hg.

Todas las especies de peces analizadas presentan una tendencia creciente o positiva de acumular mayor cantidad de mercurio con el paso del tiempo; todas las especies presentan **a una mayor cantidad de peso** (que esta en relación directa con la edad) **una mayor cantidad de mercurio total** presente en el músculo así lo indica la líneas de tendencia en las figuras 7,9,11,13,15.

La Tabla 14 nos indica las ecuaciones de regresiones lineales entre las variables peso y concentración de mercurio total para cada especie, el grado de correlación r^2 nos indica que mientras mas cercano al 100% la relación y dependencia entre las variables es mayor.

Tabla 14 .- Ecuación de regresión lineal para cada especie y su grado de correlación r^2 .

Especie	Ecuación de regresión lineal entre la concentración de mercurio total (Y) y el peso del pez (X)	Factor de Correlación r^2
Doncella	$Y = 0.092 + 0.1080X$	93.9%
Huasaco	$Y = 0.056 + 0.0011X$	77.4%
Bocachico	$Y = 0.089 + 0.00054X$	74.6%
Carachama	$Y = -0.055 + 0.0022X$	58.6%
Sardina	$Y = -0.075 + 0.0044X$	50.7%

La Tabla 15 nos muestra para cada especie pez el número de individuos que han sobrepasado el límite máximo permisible

Tabla 15. - Tabla de frecuencias con los valores críticos y no críticos para cada especie de pez.

Concentración de Mercurio (mg/Kg)	Nº de individuos de pez Doncella	Nº de individuos de pez Huasaco	Nº de individuos de pez Bocachico	Nº de individuos de pez Carachama	Nº de individuos de pez Sardina
[0.00 - 0.10]	3	10	10	20	7
[0.11 - 0.20]	7	4	1	4	3
[0.21 - 0.30]	1	8	4	1	3
[0.31 - 0.40]	5	8	1	2	3
[0.41 - 0.50]	-	2	4	1	1
[0.51 - 0.60]	1	2	1	-	-
[0.61 - 0.70]	1	1	1	-	-
[0.71 - 0.80]	1	2	1	-	-
[0.81 - 0.90]	1	-	-	-	-
[0.91 - 1.00]	-	-	-	-	-
TOTAL	20	37	23	28	17

Los Histogramas de Distribución de frecuencias se encuentran en las Figuras 6,8,10,12,14.

La especie Bocachico que presenta una concentración de mercurio medianamente alta (promedio 240 ug/Kg) es un pez detritívoro y migratorio que sirve de alimento tanto a las especies piscívoras como a los seres humanos por lo que al migrar de un lugar a otro podría estar contaminando otros ambientes acuáticos al ser parte de la cadena trófica.

La especie Sardina, según los resultados estadísticos, en cuanto a peso y concentración de mercurio se observa que absorbe rápidamente el mercurio debido que una especie de talla pequeña, el crecimiento es mas rápido por lo que los especímenes muestreados a pesar de tener un peso de adulto (90-120 gr.)(Com. per. Blgo. Pesquero Cañas Carlos, 2003) tienen poco tiempo de vida en comparación con el resto de las especies pescadas y presentan una concentración de mercurio alta en comparación a las demás especies. Esta hecho nos indica que probablemente debido a que el pescado sardina es de orden omnívoro y sus hábitos alimenticios son amplios (desde comedor de arenilla hasta comedor de semillas y frutos pasando por peces pequeños e invertebrados) que el ecosistema que esta aledaño o que se encuentra al entorno de este río presenta contaminación por mercurio.

c) ANÁLISIS DE MERCURIO TOTAL EN SEDIMENTOS

La Tabla 16 nos muestra las concentraciones promedio de mercurio total para cada estación así como sus desviaciones estándar.

Tabla 16. - Concentración de mercurio total en sedimentos

UBICACION	ESTACION DE MUESTREO	NUMERO DE MUESTRAS	CONCENTRACION PROMEDIO DE MERCURIO ug/Kg
Cabecera río Malinowsky	A	15	198 ± 65 SD
Río Pumahuaca	B	15	165 ± 80 SD
Conf. río Malinowsky-Pumahuaca	C	15	225 ± 45 SD
Río Malinowsky medio	D	15	208 ±120 SD
Río Malinowskillo	E	15	168 ± 104 SD
Conf. Río Malinowsky-Malinowskillo	F	15	208 ± 88 SD
Asentamiento APAYLOM	G	15	303 ± 55 SD
Boca Malinowsky	H	15	242 ± 89 SD
Río Tambopata	I	15	230 ± 109SD
Conf. río Tambopata-Malinowsky	J	15	290 ± 48 SD
TOTAL		150	

Valor Máximo permitido según la OMS :100 ug/Kg.

En la Tabla 17 se presentan las frecuencias de las concentraciones de mercurio total para cada estación de muestreo.

Tabla 17. - Tabla de frecuencias con los valores críticos y no críticos para cada estación de muestreo.

Concentración de Hg Total (ug/Kg)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Promedio	198	165	225	208	168	208	303	242	230	290
[001 – 100] VNC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[101 – 200] VC	10	12	04	07	11	06	02	05	04	03
[201 – 300] VC	05	03	10	06	04	09	10	09	09	10
[301 – 400] VC	0	0	01	02	0	0	03	01	02	02
TOTAL	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

VNC: Valor No Crítico. VC: Valor Crítico.

La tendencia de menor concentración a mayor concentración de mercurio a medida que se va recorriendo el río Malinowsky desde su cabecera hacia la desembocadura en el río Tambopata se ve en la Figura 16 donde se graficó la línea de tendencia de las concentraciones de acuerdo al programa Excel 1998, y nos indica la progresiva y constante acumulación de mercurio en los sedimentos.

La cita de Nriagu, (1991); “mas del 90% del mercurio presente en los sistemas lacustres se encuentra en los sedimentos”, se comprueba en este trabajo debido a que en todas las muestras de sedimento que han sido analizadas en el laboratorio han contenido mercurio y en cantidades por encima de lo permisible.

En la cabecera del río Malinowsky las concentraciones de mercurio están por encima de las permisibles aunque en menor grado que las demás indicando la presencia de mercurio desde las parte mas altas de la cuenca, esta presencia de mercurio en los sedimentos se daría principalmente a la actividad minera en las nacientes del río Malinowsky (Qda. Chiforongo) y a la actividad minera de la asociación minera AMABACO de los colonos y nativos Kotzimba.

La mayor concentración de mercurio encontrada en las muestras de sedimento se ubica en el asentamiento minero APAYLOM (estación G, Figura 16), el cual presenta una concentración promedio de 303 ug/Kg, presentando un 200% más sobre el límite permisible por la OMS (100ug/Kg), una de las razones fundamentales de esta gran concentración se da debido que en esta zona se ha trabajado la minería en forma constante desde hace mas de 30 años cuando ingresaron los primeros mineros que luego formaron la asociación APAYLOM. Aquí se puede ver como claramente el mercurio se ha ido acumulando progresivamente en los sedimentos y no se ha dado una recuperación o “limpieza” del medio ya que aun permanece esta zona contaminada.

Según los resultados de los análisis hay dos ríos que presentan una relativamente “baja” concentración de mercurio el río Pumahuaca y el río Malinowskillo, en ambos ríos se ha constatado la presencia de mineros en menor cantidad tanto en el tiempo de estudio como desde tiempos atrás porque según lo que comentan los pobladores de la zona no existe mucho oro en sus riberas (Com. per. Alfonso Espinoza, Febrero 2003).

d) ANÁLISIS DE MERCURIO EN AGUA

Para cada estación de muestreo se colectaron 5 muestras haciendo un total de 50 muestras para las 10 estaciones.

La tabla 18 nos muestra las concentraciones obtenidas en este análisis.

Tabla 18. - Concentración de mercurio total en agua

UBICACION	CLAVE	CONCENTRACION DE MERCURIO ug/L
Cabecera río Malinowsky	A	N. D.*
Río Pumahuaca	B	N. D.*
Conf. río Malinowsky-Pumahuaca	C	N. D.*
Río Malinowsky medio	D	N. D.*
Río Malinowskillo	E	N. D.*
Conf. Río Malinowsky-Malinowskillo	F	N.D.*
Asentamiento APAYLOM	G	N. D.*
Boca Malinowsky	H	N. D.*
Río Tambopata	I	N. D.*
Conf. río Tambopata-Malinowsky	J	N. D.*

***N. D.** No detectado < 0.0002 mg/L.

Los resultados de los análisis de mercurio en agua no arrojaron concentraciones mayores a 0.0002 mg/L. En ninguna estación de muestreo se ha encontrado concentraciones de mercurio esta situación se puede dar debido probablemente a las características propias del río, características físico - químicas del mercurio, y del clima circundante a esta cuenca como es la fuerte y continua precipitación que podría estar “lavando” o limpiando las aguas del río.

La densidad del mercurio al ser bien alta (13.6 gr/cm³) genera que las partículas de mercurio que ingresan al río, ya sea por que es desechada directamente por los mineros o por que ingresa al medio acuático por medio de la lluvia, se sedimenta bien rápido no permaneciendo mucho tiempo en la columna de agua por lo que sería una de las causas por las cuales no se ha encontrado trazas de mercurio en el agua.

El río Malinowsky presenta una escasa profundidad a lo largo de todo su recorrido por lo que el recorrido de la partícula de mercurio por la columna de agua es de tiempo muy corto y sobretodo si tenemos en cuenta la alta densidad del mercurio que acelera el proceso de sedimentación.

Otro motivo seria que el río Malinowsky presenta constantes crecidas en su caudal generada por aguas de lluvia de la cabecera lo que podría estar diluyendo la concentración de mercurio en el agua haciéndola indetectable para los equipos utilizados para su detección.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 PECES

Las concentraciones promedio de mercurio total en todas las especies, se encuentra por debajo del máximo permisible dictaminado por la OMS pero hay que tomar en cuenta que el agente contaminante mercurio es bioacumulable y biomagnificable manteniéndose en concentraciones cada vez mayores por lo que a mediano plazo; en base a los resultados obtenidos en este estudio, se podría estar hablando de concentraciones de mercurio en el músculo de los peces por encima de los límites máximos permisibles.

Para el caso de Perú, en peces la concentración máxima permisible es de 500 ug/Kg (Deza 1996), tanto para peces marinos como para peces de agua dulce; en comparación con los estándares para otros países, nuestro límite se ubica dentro del promedio de países como Canadá, Dinamarca, Brasil, India, Suiza y Venezuela en donde el consumo de pescado es moderado; en cambio es alto en comparación del límite que mantiene Japón y Zambia (300 ug/Kg.); esta diferencia se da debido principalmente a las costumbres alimenticias de cada país, en donde a mayor consumo percapita de pescado, el límite máximo permisible es menor, a diferencia de los países que consumen pescado con menor frecuencia como Estados Unidos, Países Bajos, Suecia, Alemania, Grecia, Finlandia, Grecia los cuales presentan un límite máximo permisible entre 700 - 1000 ug/Kg.

5.1.1 DONCELLA

La doncella que es un depredador de la cima de la cadena trófica, desplegó los valores de contaminación más altos hasta 890 y un promedio de 274 ug/Kg $\pm$ 249 SD para 20 ejemplares muestreados.

El 20% de las muestras de este pez piscívoro estaban por encima del límite permisible y sus pesos fluctuaban entre los 4 – 8.1 Kg (Tabla 15). Los demás

especímenes de la misma especie debido a su pequeño tamaño y consiguiente corta edad no alcanzan valores peligrosos de mercurio total.

En la Figura 8, se muestra para esta especie el valor de correlación entre el peso y la concentración de mercurio, el valor de correlación es alto 93.9% lo que nos da a entender que hay una fuerte relación entre el peso del pez y la concentración de mercurio, haciendo que para un mayor peso de este pez la concentración de mercurio es mayor.

La mayor frecuencia de concentración de mercurio en esta especie se dio entre las concentraciones [0.11 – 0.20] con una frecuencia de 7 individuos; seguidos de la concentración [0.31 – 0.40] con 5 individuos (Figura 7).

Pfeiffer et al.,(1993) informan de niveles altos para esta especie, hasta de 2100ug/Kg para un pez de 20 Kg en el río Madeira; en el río Jaci Parana que es un tributario al río Madeira se ha encontrado especímenes de la misma especie que contenían 2700 ug/Kg para un peso corporal de 685 gr y en el río Jamari se encontró un individuo que contenía 70 ug/Kg de mercurio total y pesaba 1.13 Kg estas grandes concentraciones son debido a que de la actividad minera a lo largo del río Madeira es mayor que en el área de Malinowsky (Deza, 1996). Sin embargo para el año 1995 Padovani et al ; encuentran en el mismo río Madeira dos ejemplares que presentaban concentraciones de mercurio total en el orden de 700 ug/Kg y de 1030 ug/Kg.

IMA, 1995 informo de otra alta concentración de mercurio en la doncella en el río Madre de Dios con 790 ug/Kg. La preocupación con referencia al alto contenido de mercurio en los peces carnívoros, es debido, a su alto consumo por parte de la población de Puerto Maldonado y casi el 37% esta compuesto por estos grandes bagres conjuntamente con los *Brachyplatistomas* spp (Deza, 1996). Años mas tarde Martinelli et al, 1988 ; encontró en el río Madeira en Porto Vello, Brasil concentraciones de mercurio total en la doncella de 500 ug/Kg. en un espécimen de 4.1 Kg. lo seria semejante a los resultados obtenidos en mi estudio para especímenes del mismo peso y Maurice – Bourgion et al, 1999 encontró para la misma especie doncella concentraciones de 857 ug/Kg en el río Beni Bolivia;

donde se especifica que el mayor riesgo de contaminación por mercurio para las personas que viven cerca de lugares donde se extrae oro es el de la ingesta de grandes peces piscívoros (bagres) que presentan mercurio en su organismo.

Así mismo de los resultados obtenidos por Maurice – Bourgion et al., (1999), en el río Tuichi y Quiquibey en Bolivia, encontraron que el 86% de los peces piscívoros analizados se encontraban sobre el nivel máximo permitido por la OMS que es de 500ug/Kg. De los cuales los que presentaban mayor contaminación eran los grandes bagres *Pseudoplatystoma* y *Brachyplatystoma*

En cuanto a la región Manu Gutleb et al., (1993); encuentran, en el río Madre de Dios, para pez doncella concentraciones de mercurio total de 1,544 – 681 ug/Kg y en el mismo año, en río La Torre, encontró para esta misma especie concentraciones de 467 ug/Kg. Mas para el año 1993 encontró en el río Manu que es un río que esta dentro del Parque Nacional Manu un individuo que contenía 51ug/kg de mercurio total en su músculo dorsal, lo que nos certifica que si bien este resultado no esta por encima de lo permisible ya que no hay minería en este río, que las especies migratorias como son los grandes bagres son un importante vector de contaminación ya que, en sus largas travesías migratorias, por la búsqueda de alimento o lugares de desove, conllevan dentro de ellos todo el mercurio bioacumulado y/o biomagnificado a lo largo de su vida.

Según Siamazonia, (2002); en el río Napo se halló para un ejemplar de doncella una concentración de 5 ug/Kg que es relativamente bajo en comparación a los resultados obtenidos para el río Malinowsky.

GRADE, (1994); informa de los resultados de un análisis de mercurio total en el músculo de un pez bagre, del río Madre de Dios, en el que se encuentra 372 ug/Kg.

En el caso del Parque Nacional del Manu, se han encontrado concentraciones de mercurio por encima del máximo permisible en el 67% de las 34 muestras de peces analizadas; siendo los grandes bagres los que mostraron los niveles más altos (Gutleb et al, 1993; Siamazonia, 2002).

5.1.2 HUASACO

El Huasaco otro pez predador comparte la más alta concentración promedio 276 ± 171 SD para 37 ejemplares muestreados y el valor mas alto para esta especie es de 760 ug/Kg para un pez de 600 gr de peso corporal, es un pez residente (Chang,1991).

Es un pez que se ubica en la cima de la cadena trófica conjuntamente con la especie Doncella, ya que presenta pocos depredadores a excepción de lobo de río, caimanes y el hombre. De los 37 individuos capturados 5 ejemplares (13% del total) superaban el limite permisible y 10 del resto de ejemplares capturados las concentraciones de mercurio variaron entre 300 – 480 ug/Kg que si bien no exceden el limite máximo permisible si se encuentran cercanos a este y los pesos de estos ejemplares variaron entre 55 gr y 410 gr, lo que indica que desde pequeñas tallas y cortas edades al ser un pez piscívoro esta bioacumulando y bioamplificando el mercurio total presente en la biota acuática, especialmente de pequeños peces y crustáceos.

En la Figura 9 se muestra para esta especie el valor de correlación entre el peso y la concentración de mercurio, el valor de correlación es medianamente alto 77.4% lo que nos da a entender que hay una fuerte relación entre el peso del pez y la concentración de mercurio , haciendo que para un mayor peso de este pez la concentración de mercurio es mayor.

La mayor frecuencia de concentración de mercurio en esta especie se dio entre las concentraciones [0.00 – 0.10] con una frecuencia de 10 individuos; seguidos de la concentración [0.21 – 0.30] y [0.31 – 0.40] con 8 individuos cada uno (Figura 8).

Deza, 1996 encontró individuos que fueron extraídos del río Madre de Dios que contenían $50 \text{ ug/Kg} \pm 15$ SD de mercurio total en el músculo dorsal y sus pesos se encontraban entre 161 - 461.5 gr. lo que nos indica en comparación con nuestros resultados que los Huasacos del río Malinowsky presentan una mayor contaminación para el mismo peso. Inclusive Deza, (1996) muestreó especímenes de Huasaco del mercado de Puerto Maldonado que provenían de

otros lugares y encontró para este pez concentraciones de 44 ug/Kg $\pm$ 36 SD y presentaban un peso promedio de 143.34 gr.

En el río Paraíba do Sul en Brasil año 1986 se analizó también la especie Huasaco alcanzando niveles superiores al recomendado por la OMS para el consumo humano. La acumulación se dio preferencialmente en el tejido muscular (CEPIS, 1997).

Padovani et al, (1995); encuentra en el río Madeira 12 especímenes de huasaco que contenían mercurio total en un promedio de 200 ug/Kg y el rango de los mismos era de 120 – 300 ug/Kg

Para el río Nanay, (DIGESA 2001), encuentra para esta especie, una concentración de 20 ug/Kg de mercurio total; si bien no es alta representó la más alta concentración para dicho estudio donde se analizaron 5 especies.

5.1.3 Bocachico

El bocachico es el pez mas comercializado al nivel de toda la amazonía peruana y es altamente comercializado en el mercado de Puerto Maldonado cualquiera que sea su procedencia dentro de Departamento de Madre de Dios, (Deza 1996 y Mocchco, 2003).

Es un pez detritívoro y migratorio (Chang, 1998). En los resultados obtenidos representa el tercer puesto en contaminación por mercurio total obteniendo un promedio de 240 ug/Kg $\pm$ 222 para 25 ejemplares muestreados.

En la Figura 11 se muestra para esta especie el valor de correlación entre el peso y la concentración de mercurio, el valor de correlación es alto 74.6% lo que nos da a entender que hay una medianamente fuerte relación entre el peso del pez y la concentración de mercurio, haciendo que para un mayor peso de este pez la concentración de mercurio es mayor.

La mayor frecuencia de concentración de mercurio en esta especie se dio entre las concentraciones [0.00 – 0.10] con una frecuencia de 10 individuos; seguidos

de la concentración [0.21 – 0.30] y [0.41 – 0.50] con 4 individuos cada uno (Figura 10).

Deza, (1996); encuentra para esta especie en el río Manu para 10 ejemplares muestreados un promedio de concentración de mercurio total del orden de 55 ug/Kg $\pm$ 35 para individuos de peso corporal entre los 713 – 1,616 gr; lo que indica que en comparación con los peces del Malinowsky estos últimos presentan una contaminación mayor ya que los ejemplares capturados en el presente estudio varia entre los 45 – 1,300 gr de peso corporal y presentan mayor concentración de mercurio. Igualmente (Padovani et al, 1995) encontró en el río Madeira, Brasil 17 ejemplares que en promedio tenían 120 ug/Kg $\pm$ 100 SD en el río Guajará-Mirim 4 individuos con una concentración promedio de 110 ug/Kg $\pm$ 30 SD de mercurio total.

En un área más cercana a Madre de Dios (Gutleb et al, 1996) menciona que en el año 1992 encuentra en el mercado de Puerto Maldonado 5 ejemplares de bocachico que presentaban en promedio una concentración de mercurio total de 125 ug/Kg la cual esta por debajo de los resultados obtenidos en este estudio lo que nos conllevaría a la suposición de que el río Malinowsky esta posiblemente sobrecontaminado con mercurio.

En la cuenca del Beni en Bolivia, Maurice – Bourgoïn et al, (1999); encuentra en el río Quiquibey 01 individuo que presentaba 39 ug/Kg de mercurio total; en el río Tuichi 02 individuos que presentaban 55 ug/Kg $\pm$ 20 SD; para el área de Rurrenabaque (no se especifica el río de donde se muestreo) 02 individuos en los que se halló 102 ug/Kg y 64 ug/Kg respectivamente y por ultimo en el río Sane se encontraron 8 individuos que en promedio contenían una concentración de mercurio total de 37 ug/Kg $\pm$ 10 SD. Es notoria la diferencia de concentraciones de mercurio total para esta especie en el río Beni en comparación a las del río Malinowsky; las del río Malinowsky presentan mayor contaminación en todas las muestras analizadas.

Según Siamazonia, (2002); en el río Napo se halló para un ejemplar de bocachico una concentración de 10 ug/Kg que es relativamente bajo en comparación a los resultados obtenidos para el río Malinowsky.

De igual manera Pfeiffer et al, (1993); en el río Madeira en Brasil encontró 01 ejemplar de bocachico de 343 gr que presentaba una concentración de mercurio total de 100 ug/Kg y Padovani et al, (1995) en el depósito de Pucurui encontró para esta especie una concentración de 70 ug/Kg

Definitivamente todos los ejemplares de bocachico analizados en este estudio superan notablemente la concentración de mercurio total presente en otros ejemplares analizados en los diferentes estudios revisados.

5.1.4 Carachama

Pez detritívoro y residente (Chang, 1998), presentó la más baja concentración de mercurio total en las 5 especies estudiadas, en las 28 muestras analizadas para esta especie se encontró un promedio de concentración de mercurio de 130 ug/Kg $\pm$ 110 SD.

En la Figura 13 se muestra para esta especie el valor de correlación entre el peso y la concentración de mercurio, el valor de correlación para esta especie es medianamente bajo 58.6% lo que nos da a entender que no existe una fuerte relación entre el peso del pez y la concentración de mercurio, demostrando que para un mayor peso mayor de este pez la concentración de mercurio no siempre sea mayor.

La mayor frecuencia de concentración de mercurio en esta especie se dio entre las concentraciones [0.00 – 0.10] con una frecuencia de 20 individuos; seguidos de la concentración [0.11 – 0.20] con 4 individuos (Figura 12).

Deza (1996) encontró para una especie similar de la misma familia Loricariidae y de los mismos hábitos alimenticios una concentración promedio de 29 ug/Kg $\pm$ 12 SD para 30 individuos los cuales pesaban entre 129 – 661 gr; El presente

estudio demuestra resultados mayores a tamaños menores lo que indica que la contaminación del río Malinowsky es mucho mayor que la del río Manu.

Por otra parte Martinelli et al, (1998); reportó para esta especie una concentración de 50 ug/Kg en el lago Macaco cercano al río Madeira en Brasil, este espécimen pesaba 180 gr. Asimismo colectó en el mismo lago huevos de la misma especie con los que llegó a una concentración de 470 ug/Kg en una muestra y en otra de 3810 ug/Kg.

La información con referencia a contaminación por mercurio total con respecto a esta especie es muy escasa por lo que no se han podido encontrar mayores datos para discusión.

5.1.5 Sardina

Pez de la familia Characidae presenta hábitos omnívoros por excelencia y de poca migración por lo que se considera un pez residente, presenta relativa abundancia en los ríos de la Amazonía. Presento una concentración promedio de 198 ug/Kg $\pm$ 194 SD para los 17 individuos colectados.

En la Figura 15 se muestra para esta especie el valor de correlación entre el peso y la concentración de mercurio, el valor de correlación para esta especie es medianamente bajo 50.7% lo que nos da a entender que no existe una fuerte relación entre el peso del pez y la concentración de mercurio, haciendo que para un mayor peso de este pez no siempre la concentración de mercurio total de la sardina va a ser mayor.

La mayor frecuencia de concentración de mercurio en esta especie se dio entre las concentraciones [0.00 – 0.10] con una frecuencia de 7 individuos; seguidos de la concentración [0.11 – 0.20] ; [0.11 – 0.20] y [0.21 – 0.30] con 3 individuos respectivamente cada uno (Figura 14).

Deza (1996), encuentra para una especie muy similar *Triportheus spp* y de la misma familia una concentración media de 29 ug/Kg ± 12 SD en 30 ejemplares capturados en el río Manu.

Martinelli et al, (1998), encontraron un ejemplar en Costa do Milagre, río Madeira en Brasil que pesaba 80 gr y contenía 570 ug/Kg de mercurio total, de igual manera Maurice- Bourgion, et al 1999 encuentra en el río Quiquibey cuenca del Beni Bolivia, un individuo de *Triportheus sp*. Un individuo que no se menciona su peso que presentaba una concentración de mercurio total de 129ug/Kg. Ambos especímenes están por debajo del promedio encontrado en el río Malinowsky lo que indicaría que este río estaría mas contaminado que los ríos Quiquibey y del río Madeira.

Este pez al ser de pequeño tamaño sirve de alimento a una gran variedad de especies piscívoras como peces, aves caimanes e inclusive el hombre que las aprovecha debido a su apreciable sabor lo que conllevaría a pensar que este pez sirve potencialmente a la continuidad del mercurio en la cadena trófica ya sea en forma de bioacumulación en primera instancia y luego de biomagnificación cuando es ingerido por otra especie predadora.

Al igual que la carachama la sardina presenta poca bibliografía a consultar y por consiguiente la discusión es escasa.

5.2 Sedimentos.

Todos los resultados de mercurio total en sedimentos, ha sobrepasado indiscutiblemente los limite permisibles, y estos resultados están directamente relacionados con la utilización de mercurio en la minería aurífera aluvial presente en este río hace por lo menos 50 años.

Estudios similares se han realizado en el río Madeira en Brasil para el año 1998 Martinelli et al; encontraron para el río Madeira diversas concentraciones de mercurio para diversos puntos de estudio haciendo un promedio de 27.5 ug/Kg para toda la cuenca de este río; concentraciones que resultan muy por debajo de las encontradas en el río Malinowsky. Sin embargo para el año 1993 Pfeiffer et al, en el mismo río Madeira se colectaron 26 muestras y se encontraron trazas de

mercurio en concentraciones en un rango de $130 \text{ ug/Kg} \pm 110 \text{ SD}$. En pequeños arroyos que vierten sus aguas al río Madeira se encontraron concentraciones para 27 muestras de $1020 \text{ ug/Kg} \pm 3003 \text{ SD}$, lo que demuestra que las concentraciones de mercurio total de este río en lo que se refiere a sedimento se encuentran muy por encima de las encontradas en el río Malinowsky y hubo simplemente una variación temporal entre estudio y estudio de 2 años.

Para el río San Jorge en Colombia donde también se realiza minería aurífera aluvial se analizaron en la estación de verano 10 muestras de sedimento encontrándose entre $35 - 236 \text{ ug/Kg}$ de mercurio total y para la estación de invierno se encontró para 5 muestras de sedimento una concentración entre $30 - 99 \text{ ug/Kg}$ (Hruschka, 2000).

Los valores de mercurio en sedimentos, aguas abajo de la boca del río Inambari; se encuentran entre 10 y 185 ug/Kg . Las muestras recolectadas aguas arriba de la boca del río Inambari, exponen valores entre 100 y 820 ug/Kg , que coinciden con el área de mayor actividad minera, donde incluso se informa excepcionalmente de una muestra con 2560 ug/Kg (Medina, 2001).

Otros estudios en realizados para la determinación de mercurio en sedimentos arrojaron los siguientes resultados: Río Huarinilla, 2km abajo de la confluencia con el Río Chairó, Bolivia: $284,7 \text{ ug/Kg}$; Río Chairó, 20m arriba de Mina Esperanza, Bolivia: $407,0 \text{ ug/Kg}$; Río Chairó, 30m abajo de Mina Esperanza, Bolivia: $578,1 \text{ ug/Kg}$; Río Amarillo, Ecuador $330-3,56 \text{ ug/Kg}$; Río Pindo, Ecuador: $270 - 1440 \text{ ug/Kg}$; Quebrada Chachajal, Colombia: $340 - 510 \text{ ug/Kg}$; Quebrada Piscoyaco, Colombia: $380 - 4100 \text{ ug/Kg}$; la gran mayoría de estos resultados excede en gran medida a los resultados encontrados en el río Malinowsky y se da debido a que en estos ríos participan ya no simplemente minería artesanal y pequeña minería sino más bien una minería de mayor tamaño.

5.3 Agua.

El resultado de no encontrar trazas de mercurio en agua en ninguna muestra analizada, (inclusive cuando es evidente la minería aurífera aluvial y el obligado uso de mercurio), se da según estudios similares debido a que las muestras

fueron tomadas en la época de creciente de agua (Diciembre – Julio) sería bueno continuar con el monitoreo de agua en la estación seca (Agosto – Octubre) en donde los ríos han bajado su caudal y así se podrá determinar si existe mercurio en las aguas del río Malinowsky, debido a que aumentaría la concentración de este en las aguas del río.

Un resultado muy parecido ocurrió también en un estudio similar en el río Madeira en Brasil (Pfeiffer et al, 1993); en el que se analizó muestras de agua, peces, cabello humano y sedimento donde se encontraron trazas de mercurio en peces, sedimento y cabello humano en concentraciones en algunos casos mayores y en otros casos menores a los permisibles; pero en agua, los resultados fueron bajos y en algunos casos nulos, no se encontró ninguna traza; a lo que los investigadores citaron como una de las causas la creciente de agua producto de las lluvias con la correspondiente remoción de sedimento, que ocurrió en el momento de la toma de muestras, y que debido a este fenómeno natural, el mercurio se diluyó en el agua produciéndose una concentración muy por menor a la verdadera concentración presente en el medio.

En un estudio similar en el río Nanay la contaminación de las aguas por mercurio total fue de 0.00013 mg/L por lo que no superó los límites establecidos por la Ley General de Aguas para los cuerpos de agua catalogados en la escala uso de agua N° VI: Aguas de preservación de fauna acuática y pesca recreativa o comercial (Max. 0.0002 mg/L de mercurio).

En el caso del río Inambari muestreado por Medina en el 2001, la concentración de mercurio alcanzó bajas concentraciones excepto una muestra que alcanzó 71.6 ppm debido a que fue tomada en un punto de amalgamación y en época de vaciante; es por este motivo que el valor de es exageradamente alto tanto por el lugar de toma de la muestra y por las condiciones propias que presenta la época de vaciante.

VI. CONCLUSIONES

- 1) La cuenca del río Malinowsky presenta para peces una contaminación moderada de mercurio total, siendo el pez piscívoro Huasaco el que mostró en promedio el valor más alto de 276 ug/Kg y el valor mas bajo correspondió pez detritívoro Carachama con 130 ug/Kg.
- 2) Solo 12 especímenes del total muestreados (125). Reportaron valores por encima del limite establecido por la OMS (500 ug/Kg) y corresponden a las especies: Doncella 04; Huasaco 05; Bocachico 03.
- 3) Las peces piscívoros: Doncella y Huasaco que se encuentran en la cima de la cadena trófica presentan las concentraciones mas altas de mercurio total encontradas en el presente estudio: 890 y 760 ug/Kg respectivamente.
- 4) El pez detritívoro Bocachico si bien no presenta un alto grado de contaminación en promedio, para ciertos tamaños con pesos mayores a 1000 gr, si arroja valores críticos que oscilan entre 600 y 750 ug/Kg.
- 5) Las especies que en ningún caso superaron el limite permisible señalado por la OMS fueron la especie omnívora sardina y la especie detritívora carachama, las cuales si bien se han capturado especímenes adultos no arrojaron valores preocupantes o críticos.

6) Es clara la tendencia en peces que a mayor peso mayor la concentración de mercurio total acumulado en el músculo dorsal para todas las especies. El grado de correlación entre el peso y la concentración de mercurio así lo demuestran.

7) Los niveles de mercurio total presentes en los sedimentos exceden en todos los casos los límites permisibles dictaminados por la OMS (100 ug/Kg) por lo que se estaría tratando de un caso de contaminación grave que afectaría directamente a toda la biota acuática.

8) En sedimentos es claro el incremento de la carga contaminante del mercurio desde la cabecera del río Malinowsky (198 ug/Kg) hasta su desembocadura en el río Tambopata (230 ug/Kg) presentando el asentamiento minero APAYLOM (ubicado en la rivera del río Malinowsky) el lugar donde se ubicó la más alta concentración de mercurio total (303 ug/Kg).

9) En el recurso agua no se encontraron trazas de mercurio total en ninguna muestra colectada, lo que se puede dar probablemente debido a la baja concentración de mercurio en la misma ya sea por factores naturales como precipitación, bajo nivel de las aguas y fuerte corriente del mismo.

10) Con el paso del tiempo si se sigue extrayendo oro como en la actualidad con la mala utilización del mercurio como se realiza en esta cueca, la concentración de mercurio presente en el sedimento y en los peces podría continuar en aumento llegando a niveles de alto grado de toxicidad como se han reportado en otros países donde también se realiza la actividad minera aurífera aluvial.

11) La presencia de mercurio en peces y sedimento en la cuenca del río Malinowsky es un peligro potencial que, si no se controla a tiempo, podrá tener consecuencias impredecibles y trágicas en un futuro no muy lejano debido al aprovechamiento por parte de los pobladores locales así como de la fauna local de los peces existentes en este río.

VII. RECOMENDACIONES

- Observando los resultados obtenidos en el presente estudio en cuanto a las concentraciones de mercurio existentes en los peces piscívoros, se sugiere realizar un control continuo del análisis de metales pesados en el río Malinowsky por parte del Ministerio de Salud debido al riesgo de consumo de consumo de pescado por parte de los habitantes del mismo río.
- Teniendo en cuenta que en este estudio los sitios de mayor contaminación por mercurio en sedimentos fueron el asentamiento minero APAYLOM, la confluencia del río Tambopata – Malinowsky y la Boca del río Malinowsky sería conveniente que este estudio sirviera de base para realizar posteriores investigaciones en el mismo lugar así como el determinar las concentraciones de mercurio en otras especies de peces y en otras fuentes hídricas, para hacer más evidente el problema que se presenta en diversas cuencas a escala nacional que esta pasando desapercibido.
- Determinar los diferentes puntos del ecosistema que están siendo afectados por los vertimientos de mercurio por parte de la minería artesanal, de tal forma que se pueda relacionar con el grado de contaminación de los pescados.
- Realizar campañas educativas, mediante manuales, folletos de difusión masiva que adviertan sobre los daños irreversibles que ocasiona el mercurio en

los seres humanos y en el medio ambiente para concientizar a las personas involucradas en la actividad minera.

- Impartir acciones de control ambiental por medio del Ministerio de Energía y Minas en el río Malinowsky principalmente con el manejo de desechos o residuos tóxicos como el mercurio, petróleo, aceites, etc.
- Promover el consumo de “peces que no comen otros peces” como se ha hecho en Brasil, para disminuir el riesgo de contaminación por mercurio en las personas.
- Reducir el impacto ambiental y la contaminación por mercurio que genera la actividad minera mediante la tecnología existente como es el uso de retortas y otras herramientas para mejorar la eficiencia de la recuperación del mercurio y reducir los impactos ambientales negativos.
- A través de las Redes de Protección del Medio Ambiente continuar con el monitoreo ambiental y sobretodo hacer énfasis en el monitoreo periódico de agua, peces y sedimento en la cuenca del río Malinowsky para ver como esta la tendencia de la concentración del mercurio.
- Continuar con el monitoreo de mercurio en el río Malinowsky en la estación seca par ver si se detecta mercurio en las aguas ya que al haber menor cantidad de agua la concentración del mercurio aumenta.
- Hacer un análisis mercurio en los peces que se comercializan en el mercado y relacionarlo con la procedencia del mismo para saber el grado de contaminación de mercurio en peces de otras cuencas.
- Reiniciar por parte del Ministerio de Energía y Minas el programa de distribución de retortas y de reactivadores de mercurio entre los mineros.
- Promover agresivamente la utilización de retortas para el manejo adecuado del mercurio.

- Identificar, registrar y controlar la comercialización del mercurio en esta área y si es factible en todo el Departamento de Madre de Dios.
- Realizar una evaluación toxicológica a los mineros para establecer las implicancias sobre salud, causadas por el tipo de actividad desarrollada.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- AAMMA (Asociación Argentina de los Médicos por el Medio Ambiente), 2001. El mercurio y la salud. (En línea). Consultado 27 Nov. 2003. Disponible en <http://www.aamma.org/mercurio.htm>
- Ambientum, 2001 El mercurio como elemento contaminante. (En línea). Consultado 22 Oct. 2003. Disponible en http://www.ambientum.com/revista/2001_18/2001_18_ATMOSFERA/LMRCCR_CML1.htm
- AMBIO, 1999. Mercury Pollution Due to Gold Mining in the Madeira River Basin, Brazil. Vol. 19 N0.1, FEB. 1990
- Arbiol, P; sin año. Información de odontología sobre la amalgama. (En línea). Consultado 22 Dic. 2003. Disponible en <http://www.negligencias.com/010600.html>
- Barrameda, 2003. Solución a la contaminación por mercurio. (En línea). Consultado 9 Dic. 2003. Disponible en <http://www.barrameda.com.ar/noticias/ago03/mercur01.htm>
- Barreto, L; 2002. Contaminación por mercurio y sus consecuencias e impactos en la ecología y población rural. (En línea). Consultado 27 Oct. 2003. Disponible en

http://www.ambienteecologico.com/ediciones/2002/085_09.2002/085_Investigacion_LuisBarretoSerrano.php3.

- Biopsicologia, 2003. Tratado multidisciplinar sobre la actividad cerebral, los procesos mentales superiores y nuestro comportamiento. (En línea). Consultado 17 Nov. 2003. Disponible en http://www.biopsicologia.net/fichas/page_7257.html
- Brack, A; Mendiola, C; sin año. El Mercurio y la Salud. (En línea) Consultado 23 Oct. 2003. Disponible en http://www.peruecologico.com.pe/lib_c23_t06.htm
- CEPIS, 1997. Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales. (En línea). Consultado 14 Nov. 2003. Disponible en <http://www.cepis.opsoms.org/eswww/fulltext/publica/manueval/anecap03.html>
- Chang, F; 1991 . Ictiofauna de la Zona Reservada Tambopata, Madre de Dios _ Peru. Tesis de Bachiller, Universidad Ricardo Palma, Lima. 111 p.
- Chang, F; 1998. Fishes of the Tambopata – Candamo Reserved Zone, Southeastern Peru. Revista Peruana de Biología 5(1): 15 – 26. Facultad de Ciencias Biológicas
- Consultora M.. Real & Asociados S.A.; 1996. Residuos patógenos: Salud tóxica. (En línea). Consultado 19 Dic. 2003. Disponible en <http://www.mercuriodelasalud.com.ar/anteriores/numeros/59/notas/residuos.htm>
- DEQ (Michigan Department of Environmental Quality), 1994. Alerta de Mercurio. (En línea). Consultado 10 Oct. 2003. Disponible en <http://www.deq.state.mi.us/documents/deq-ead-p2-mercurycd-mercuryAlertBilingual.pdf>
- Deza, N; 1996. La acumulación del mercurio en los peces del río Madre de Dios. Tesis de Magister en Ciencias . Universidad Estatal de Oregon. 40 p.

- Direction General de Asuntos Ambientales, 1997. Evaluación ambiental territorial de la cuenca del madre de Dios. 37 p.
- DIGESA (Dirección General de Salud Agrícola), 2001. Evaluación ambiental rápida de los impactos de las actividades auríferas en al cuenca del rio Nanay. Iquitos. Perú 15 p.
- D'Itri, F; 1992. El ciclo de metilmercurio y otros metales pesados en ambientes lacustres. Ingenieria Hidraulica en Mexico. Mayo / Diciembre 1992. 75 - 85.
- EMAPAT (Empresa de Agua Potable y de Alcantarillado), 1988. Características físico-químicas de los principales ríos de madre de Dios. 39 p.
- Envirolab, 2003. Informe técnico de muestras de laboratorio. 16p.
- Español, S; 2001. Asimilación del mercurio en seres vivos. 45 p.
- García, I; Dorronsoro, C; 2003. Contaminación por metales pesados. (En línea). Consultado 15 Dic. 2003. Disponible en <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/casos.htm>
- Gerenciambiental, 2002. Toxicidad con el mercurio. (En línea). Consultado 28 Nov. 2003. Disponible en <http://www.gerenciambiental.com.ar/notasanteriores/78higiene.cuandosalud.asp>
- Geocities; 2001. Contaminación por metales. (En línea). Consultado 17 Dic. 2003. Disponible en <http://ar.geocities.com/maxiyani2001/cmetales.htm>
- Gómez, R 1994. Contaminacion ambiental en al amazonia Peruana. Reporte 1994. Informe técnico de avance. Instituto d3 investigación de la Amazonía peruana. Iquitos. Perú. 52 p.
- GRADE (Grupo de Análisis para el Desarrollo), 1994. Estudio de la Minería Informal en el departamento de Madre de Dios. 244 p.

- Guerrero, B; Torres, J; sin año Efectos ambientales por uso de cianuro y mercurio en la recuperación secundaria de oro. (En línea). Consultado 21 Nov. 2003. Disponible en <http://www.contraloriagen.gov.co/cdminas/contenido/Efectos%20ambientales%20por%20uso%20de%20cianuro%20y%20mercurio.pdf>
- Gutleb, A., Schenck, C. And Staib, E. 1993. Total mercury and methylmercury levels in fish from Peru. IUCN Otter Specialist Group Bulletin, 8: 16 – 18.
- Hruschka, F; 2001 Proyecto GAMA "Una Propuesta Integral para la Minería Artesanal en el Perú". Boletín informativo. 8 p.
- Hruschka, F; 2001 Proyecto GAMA "Una Propuesta Integral para la Minería Artesanal en el Perú". (En línea). Consultado 30 Noviembre 2003. Disponible en <http://www.gama-peru.org/libromedmin/capitulo/5/5-5-5.htm>
- Hruschka, F; 2000. Evaluacion de la contaminacion por mercurio en la Mojana, Colombia. (En línea). Consultado 19 Dic. 2003. Disponible en http://www.hruschka.com/hgnet/members/claudia/metilmercurio_en_la_mojana.doc
- IDRC (International Development Research Center), 2003 . Enfoque ecosistémico: Contaminación por mercurio en el amazonas. (En línea). Consultado 8 Ene. 2004. Disponible en http://web.idrc.ca/uploads/userS/10687338521Ecohealth_Casestudy_03_s.pdf
- IMA (Instituto para el Medio Ambiente); 1995. Efectos de la Contaminación por Mercurio en la Explotación Aurífera Aluvial en Madre de Dios. Instituto de manejo del Medio ambiente. Cuzco 45 p.
- INANDES ; 1999. Contaminación Ambiental por Explotación Aurífera y sus Efectos en la Salud. Opciones 28-35

- INRENA, 2001. Boletín Informativo de áreas naturales protegidas a nivel nacional. 18 p
- Jimenez, A; 2001. Mercurio. (En línea). Consultado 15 Dic. 2003. Disponible <http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/hg.html>
- Johnson, P; 2003. Contaminación por mercurio en el Amazonas. La silvicultura puede ser una solución duradera a un problema sanitario y ecológico. (En línea). Consultado 14 Octubre 2003. Disponible en http://web.idrc.ca/uploads/userS/10687338521Ecohealth_Casestudy_03_s.pdf
- Konigsberg, M; sin año. El sombrero de loco. (En línea). Consultado 13 Oct. 2003. Disponible en <http://www.laneta.apc.org/emis/novedades/mercurio.htm>
- Lenntech; sin año. Mercurio. (En línea). Consultado 24 Nov. 2003. Disponible en <http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/Hg.htm>
- Librys, 2002. Información sobre metales pesados: Mercurio, plomo, cadmio. (En línea). Consultado 19 Dic. 2003. Disponible en <http://www.librys.com/problemasdequimica/plomo.html>
- Llosa, G; 1995. Evaluación ambiental del río Malinowsky e impacto de la minería aurífera. Memoria del programa de desarrollo basado en la convención en Tambopata – PRODESCOT; 1995 – 1996 CI - Peru, 95 – 101.
- Martine li, L; Ferreira, J; Fosberg, B; Victoria, R; 1998. Contaminación por Mercurio en la Amazonia: Una Consecuencia de la Arremetida del Oro. Ambio Vol Nº 17: 52 - 58
- Maurice-Bourgoin L., Quiroga I., Malm O., and Chincheros J., 1999 - Contaminación por mercurio en agua, peces y cabellos humanos debido a la minería aurífera en la cuenca Amazonica Boliviana. Rev. Bol. de Ecol, 6 : 239-245.

- Miller, S; 2002. Informe final de evaluación de riesgos del derrame de mercurio ocurrido en el Norte del Perú. 154 p. (En línea). Consultado 10 Nov. 2003. Disponible en http://www.yanacocha.com.pe/fr_espanol.pdf
- Ministerio de Energía y Minas; Dirección General de Asuntos Ambientales, sub-sector Minería; 2000. Protocolo de Monitoreo de Calidad de Agua. Vol. 2. 34p.
- Ministerio de Energía y Minas, 2003 Producción de oro aluvial en el Departamento de Madre de Dios. Boletín informativo. 14 p.
- Monteagudo, F; 2001. Evaluación de la contaminación por mercurio en la población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena - Ayacucho - Perú durante el periodo agosto - septiembre 2001. (En línea). Consultado 20 Nov. 2003. Disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/tesis/Salud/Monteagudo_M_F/generalidades.htm
- Mora, C; 1995. La contaminación mercurial en Madre de Dios. Convenio pesquería - IMA. Cuzco 39p
- Mochco, O; 2001. Estudio de la comercialización de peces de río en el departamento de Madre de Dios. 67 p
- Mundo acuático, 2003 Calentamiento global puede agravar contaminación mercurio: ONU. (En línea). Consultado 16 Nov. 2003. Disponible en <http://archivos.mundoacuatico.com/feb03/03febcalentamientoglobal.htm>
- Nauen, C. 1983. Compilación de los Límites Legales para Sustancias Peligrosas en Peces y Productos de Pesca. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. 22 p.
- Navarro, 1999 Minuta contaminación por mercurio. (En línea). Consultado 27 Oct. 2003. Disponible en <http://www.navarro.cl/ambiente/contaminaci%3ndemercurio.htm>

- Nriagu, J; 1991. La contaminación mundial del medio ambiente con metales tóxicos. 68 p.
- NJDEP (New Jersey Department of Environmental Protection) , 2002. Se le Urge al Público Limitar Consumo de Ciertos Peces de Agua Dulce debido a Contaminación de Mercurio. (En línea). Consultado 27 Octubre 2003. Disponible en <http://www.state.nj.us/dep/ambiente/press/mercury.htm>
- NOTICyT (Agencia de Noticias de Ciencias y de Tecnología en Colombia), 2003. Alta contaminación de mercurio en el norte e Colombia. Boletín N° 28. (En línea). Consultado 13 Nov. 2003. Disponible en <http://anm.encolombia.com/noticyt28-1.htm>
- Ortega, H; Chang, F; 1992. Ictiofauna del Santuario Nacional Pampas del Heath – Madre de Dios. Perú. 221 p.
- OAH (Oficina de Archivos e Historia)., 2000. Glosario de Terminología Minera (En línea). Consultado 27 Oct. 2003. Disponible en <http://www.ah.dcr.state.nc.us/Spanish/sections/hs/reed/glossary.htm>
- Organización Panamericana de la Salud (sin año). Contaminación ambiental por Mercurio Metálico en la región Amazónica. Informe técnico 25 p.
- Padovani, C; Fosberg, B; Pimentel, T; 1995. Contaminación por Mercurio en peces del río Madeira: Resultados y Recomendaciones para Consumo Humano. Acta Amazónica 20 p.
- Pautrat, L; 2001. Informe sobre la Caracterización de la Explotación Aurífera en el Departamento de Madre de Dios y su Influencia en la Biodiversidad 46 p.
- Pfeiffer, W.C., L de Lacerda, W. Salomons, O. Malm, 1993. El destino medioambiental de la minería de oro en al amazonía brasileña. Environ Rev, 1:26 – 37.
- QHH (La Química el Hombre y su Hábitat), sin año. Toxicidad de los metales. (En línea). Consultado 19 Dic. 2003. Disponible en http://www.qhh-online.org/MK2/web/bacte2_body.htm

- Rendiles, H; 2002. Patología laboral relacionada con mercurio. (En línea). Consultado 28 Octubre 2003). Disponible en <http://members.tripod.com/RENDAILES/MERCUSOS.html>
- Rendiles, H; 2000. Salud ocupacional en Venezuela: Patología por Mercurio. (En línea). Consultado 22 Dic. 2003. Disponible en <http://pdvsa.tripod.com/id32.htm>
- Rodríguez, J; 2002 Mercurio mineral y mercurio orgánico. (En línea). Consultado 11 Oct. 2003. Disponible en <http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2002/02/06/690>
- Rodríguez, M; 2003. Metales pesados el mercurio y sus riesgos. (En línea). Consultado 16 Nov. 2003. Disponible en <http://www.consumaseguridad.com/web/es/investigacion/2003/10/07/8670.php>
- Rosario, J; Kault, S; 1997. Reducing the environmental and Health impacts of Mercury and Cyanide in Gold – Mining in Nicaragua. EHP, Activity report N° 33
- Rubio, J; 1995. Estadística Aplicada. 179 p.
- Siamazonia, 2002. Impactos en la producción pesquera por contaminación. (En línea). Consultado 12 Dic. 2003. Disponible en http://www.siamazonia.org.pe/Publicaciones/Recursos_hidrobiologicos/Impactos%20P.htm
- Siamazonia, 2002. Impactos Ambientales. (En línea). Consultado 19 Dic. 2003. Disponible en http://www.siamazonia.org.pe/Publicaciones/Sit_Act_Pesc_Acuic_MDD/impactos_ambientales.htm
- Trillo, A; 1995. Diagnostico tecnológico y diseño de programa de extensión minera en la cuenca del río Malinowsky. Memoria del programa de desarrollo

basado en la convención en Tambopata – PRODESCOT; 1995 – 1996 CI - Peru, 102 – 106.

- Veliz, C; 2000. Estadística aplicaciones. 410 p.
- W.H.O. (World Health Organization); 1991. Inorganic Mercury. 144 p.
- Wotruba, H, Hruschka, F Hentschel, H; Priester, M; 2000. Proyecto Gama: “gestión ambiental de la minería artesanal”. (En línea). Consultado 11 Dic. 2003. Disponible en <http://www.gama-peru.org/libromedmin/capitulo/5/5-3-2-4-1.htm>
- Wotruba, H, Hruschka, F Hentschel, H; Priester, M; 2000. Proyecto Gama: “gestión ambiental de la minería artesanal”. (En línea). Consultado 03 Ene. 2004. Disponible en <http://www.gama-peru.org/libromedmin/capitulo/5/5-3-2-4.htm>

IX. ANEXOS

Anexo 1

Fotos: Tipos de minería en el río Malinowsky

Anexo 2

Foto: Vista panorámica del río Malinowsky

Anexo 3

Fotos: Ejemplares de las especies estudiadas

Anexo 4

Fotos: Muestreo de los peces capturados.

Anexo 5

“Resultados promedios de los parámetros físico – químicos de las muestras del río Malinowsky”.

Los valores de cada uno de los parámetro de cada estación de muestreo, son el promedio de los distintos valores obtenidos después de su determinación en campo y del resultado de los análisis del laboratorio.

PARÁMETRO / UBICACIÓN	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
----------------------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Temperatura °C	28.6	27.6	27.6	28	28	27.3	27.6	27	27.3	26
Oxígeno Disuelto (mg/L).	7.1	7.3	7.2	6.8	6.6	6.8	7	6.9	7	6.6
Conductividad (us).	14.4	13.3	13.7	13.8	11.6	16.6	13.5	16.6	16	15.4
Sólidos Totales. (ppm)	5	6.6	6.6	10	8.3	11.6	8.3	8.3	11.6	8.5
Ph	7.7	7.8	7.7	6.9	7	7	7.4	7.8	7.2	6.9
Sólidos Suspens. (mg/L)	103	13.3	70.3	159	85	143	992	581	99	304

