

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS - CARRERA DE BIOLOGIA
INSTITUTO DE ECOLOGIA
POSTGRADO EN ECOLOGIA Y CONSERVACION



CONTAMINACION AMBIENTAL POR MERCURIO
DE LOS RIOS CHAIRO Y HUARINILLA
EN EL PARQUE NACIONAL Y AREA NATURAL
DE MANEJO INTEGRADO COTAPATA

TESIS DE POSTGRADO PARA OPTAR EL TITULO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN ECOLOGIA Y CONSERVACION

por
Lic. Sonia Irma Quiroga Veizaga

La Paz - BOLIVIA

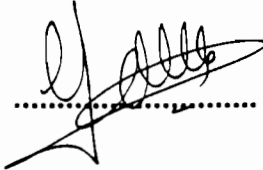
1996

**CONTAMINACION AMBIENTAL POR MERCURIO
DE LOS RIOS CHAIRO Y HUARINILLA
EN EL PARQUE NACIONAL Y AREA NATURAL
DE MANEJO INTEGRADO COTAPATA**

**por
Sonia Irma Quiroga Veizaga**

TUTORA:

Dra. Laurence Maurice Bourgoïn



.....

TRIBUNAL:

Dra. Margot Franken

.....

Dr. Thomas Hentzchel

.....

Coordinador Académico Postgrado:

Mario Baudoin Ph. D.

Assesores :

Lic. Ruben Marin

Ing. Eduardo Solis

LA PAZ - BOLIVIA

1996

DEDICATORIA

A Vianka Verónica de quien aprendo algo cada día.

A Mamá por su inagotable amor y constante apoyo moral.

AGRADECIMIENTOS

De todo corazón:

A mi Tutora la Dra. Laurence Maurice Bourgoïn por su invaluable cooperación y por su asesoramiento constante durante la realización de la Tesis. A través de ella a ORSTOM.

A mis Asesores: el Lic. Rubén Marín y el Ing. Eduardo Solís por sus atinados consejos sobre la Tesis.

A la GTZ y al Instituto de Ecología de la UMSA por hacer posible el Curso de la Maestría en Ecología y Conservación del que aprendí muchas cosas importantes para mi profesión.

A la Dirección Nacional de Conservación de la Biodiversidad, a FONAMA y al Banco Mundial, organizaciones que me brindaron el aporte financiero para la realización de la Tesis de Postgrado.

A mis Profesores del Postgrado por transmitimos sus experiencias y sus conocimientos.

Al Dr. Olaf Malm y los maravillosos amigos que encontré durante mi permanencia en la Universidad Federal de Rio de Janeiro- Brasil, por su valiosa cooperación en la realización de los análisis de mercurio.

A mis compañeros del Postgrado con quienes compartimos dos años inolvidables y muchas experiencias interesantes.

Al Personal Administrativo del Postgrado, del Instituto de Ecología y de la Carrera de Biología de la UMSA, que no escatimaron esfuerzo alguno en ningún momento.

A los Directivos Mineros de la Cooperativa Cotapata por su desinteresada colaboración durante mi estadía en la zona de estudio.

A mis tribunales de Tesis los Dres. Margót Franken y Thomas Hentzchel por sus valiosas observaciones al Trabajo.

A mis Colegas de la Carrera de Ciencias Químicas por la confianza puesta en mi persona y en la conclusión de esta Tesis.

RESUMEN

El presente Trabajo de Tesis estudia el impacto ambiental ocasionado por la minería de explotación de oro en el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado: Cotapata.

El área minera esta ubicada en la cabecera de una cuenca subandina donde nace el río Chairo, afluente del río Huarinilla, (el que es afluente en la cabecera del río Coroico), ambos ríos atraviesan el Área Protegida pasando por la población de El Chairo.

La tesis determina concentraciones de mercurio contenido en las aguas, en muestras de sólidos suspendidos, sedimentos y peces, a través de análisis químicos.

Las muestras colectadas en cinco puntos del arrea de estudio fueron cuidadosamente procesadas aplicando en ellas protocolos denominados **ultralimpios**, métodos que se aplicaron desde la preparación del material a ser usado en la campaña de muestreo.

Otros aspectos considerados son el impacto de la minería del oro sobre el paisaje, vegetación, uso de la tierra, aguas superficiales, ruido, contaminantes químicos, aspectos socioeconómicos y salud.

Los resultados del análisis químico en los sólidos suspendidos en dos puntos de la cabecera del río Chairo son 4 y 15 $\mu\text{g/g}$. Los valores obtenidos en los sedimentos de fondo son 11,5 mg/g en la cabecera de la cuenca y en la confluencia de los ríos Chairo y Huarinilla, 407 $\mu\text{g/g}$; en los peces del río Huarinilla la concentración media obtenida es de 142 $\mu\text{g/g}$.

Los resultados obtenidos en este trabajo han sido comparados con datos bibliográficos similares obtenidos para la amazonía boliviana y brasilera, y también con datos de límites permisibles recomendados por la OMS/OPS..

Se observa que la contaminación mercurial es muy alta en los cauces de los ríos Chairo y Huarinilla, por lo tanto los peces de la zona no son aptos para consumo humano.

INDICE GENERAL

1 - INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	4
3. GENERALIDADES.....	5
3.1. CICLO GLOBAL DEL MERCURIO	6
3.2 PROPIEDADES DEL MERCURIO	9
3.2.1 <i>Usos del mercurio</i>	10
3.2.2 <i>Toxicologia del mercurio y de sus compuestos</i>	11
3.3 ENFERMEDADES ASOCIADAS AL MERCURIO.....	12
3.3.1 <i>Reacciones y transformaciones del mercurio</i>	14
3.3.2 <i>Metabolismo del mercurio en el organismo humano</i>	16
3.4 VALORES DE MERCURIO RECOMENDADOS.....	17
3.5 ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS EN BOLIVIA.....	18
3.5.1 <i>Presentación de los resultados obtenidos en la cuenca amazónica</i>	19
3.5.2 <i>Presentación de los resultados obtenidos en la Cordillera Real y en los Yungas</i> .21	
3.6 OTROS ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	23
4 PRESENTACION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO.....	30
4.1 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	33
4.2 ACTIVIDADES MINERAS RELACIONADAS CON LA EXPLOTACIÓN Y EL BENEFICIO DEL ORO.....	37

4.2.1 Historia de la actividad minera en el sector Cotapata	37
4.2.2 Presentación de las cooperativas en actividad.....	38
5. MATERIAL Y METODO DE COLECTA.....	47
5.1 PRESENTACIÓN DE LAS CAMPAÑAS AL TERRENO	47
5.1.1 Sector Población del Chairo.....	47
5.1.2 Sector Cotapata (cabecera del río Chairo).....	49
5.2 MATERIAL Y METODOS.....	51
5.2.1 Para aguas y sólidos suspendidos	51
5.2.2 Para sedimentos.....	54
5.2.3 Para peces.....	54
6. RESULTADOS	59
6.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS AGUAS É INTERPRETACIÓN	59
6.1.1 Parámetros fisicoquímicos	59
6.1.2 Resultados de mercurio en sólidos suspendidos.....	60
6.1.3 Interpretación	60
6.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS SEDIMENTOS É INTERPRETACIÓN	62
6.2.1 Resultados de los análisis de mercurio en sedimentos	62
6.2.2 Interpretación	62
6.3 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PECES É INTERPRETACIÓN	64
6.3.1 Resultados de los análisis de mercurio en los peces.....	64
6.3.2 Interpretación	65
7. CONCLUSIONES.....	68

8. RECOMENDACIONES	70
9. EVALUACION PRELIMINAR DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES AURIFERAS EN LOS RIOS DEL PARQUE NACIONAL COTAPATA.....	74
9.1 GENERALIDADES SOBRE LA EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL.....	74
9.2 ANTECEDENTES DEL PROCESO DE EXPLOTACIÓN AURÍFERA	74
9.3 LA PROBLEMÁTICA DE LA MINERÍA EN EL PARQUE NACIONAL COTAPATA.....	75
9.3.1 <i>Monitoreo en la fuente contaminante.....</i>	<i>75</i>
9.3.2 <i>Monitoreo en el medio ambiente.....</i>	<i>76</i>
9.3.3 <i>Monitoreo sobre la salud de los mineros</i>	<i>77</i>
9.3.4 <i>Algunas consideraciones sobre el uso de la tierra</i>	<i>78</i>
9.4 RESULTADOS DE LA AUDITORÍA AMBIENTAL	78
10. BIBLIOGRAFIA.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 - Valores recomendados de mercurio.	p. 17
Tabla N° 2 - Características generales de los puntos de muestreo.	p. 49
Tabla N° 3 - Parámetros físico-químicos para muestras de agua.	p. 59
Tabla N° 4 - Resultados de análisis de mercurio en sólidos suspendidos.	p. 60
Tabla N° 5 - Resultados de análisis de mercurio en sedimentos.	p. 62
Tabla N° 6 - Resultados de análisis de mercurio en peces.	p. 65
Tabla N° 7 - Valores de concentración de mercurio en muestreos de sólidos suspendidos, sedimentos y peces.	p. 60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 - Ciclo global del mercurio.	p. 6
Figura N° 2 - Mercurio proveniente de la minería aurífera y su circulación dentro del medio ambiente.	p. 8
Figura N° 3 - Ubicación de los puntos de muestreo.	p. 30a
Figura N° 4 - Flujograma de las Cooperativas Jesús del Gran Poder y Unión Ideal.	p. 41
Figura N° 5 - Flujograma de la Cooperativa Cotapata.	p. 45

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1 - Panorama de una parte de la zona minera (Cotapata, 1995).	p. 32
Fotografía N° 2 - Ingreso del mineral al ingenio de la cooperativa Jesús del Gran Poder (Cotapata, 1995).	p. 40
Fotografía N° 3 - Maquinaria de la cooperativa Cotapata (Cotapata, 1996).	p. 44
Fotografía N° 4 - Río Huarinilla, punto S1 (1995).	p. 48
Fotografía N° 5 - Río Chairo, puntos S2 y S3 (1995).	p. 48
Fotografía N° 6 - Río Chairo, punto S4 (Cotapata, 1995).	p. 48
Fotografía N° 7 - Río Chairo, punto S5 (Cotapata, 1995).	p. 48
Fotografía N° 8 - Equipo de purificación de aire Clase 100 (1995).	p. 53
Fotografía N° 9 - Análisis de mercurio en sedimentos (Laboratorio del UFRJ, 1995).	p. 56
Fotografía N° 10 - Análisis químicos de mercurio en peces (Laboratorio del UFRJ, 1995).	p. 58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A - Parque Nacional y Area Natural de Manejo integrado : Cotapata.

Anexo B - Índice de matrices de evaluación e identificación de impactos.

Anexo C - Resultados brutos de los análisis químicos del mercurio.

Anexo D - Fotografías del Parque Nacional · Cotapata.

**CONTAMINACION AMBIENTAL POR MERCURIO
DE LOS RIOS CHAIRO Y HUARINILLA
EN EL PARQUE NACIONAL Y AREA NATURAL
DE MANEJO INTEGRADO COTAPATA**

1 - INTRODUCCION

Bolivia es un país tradicionalmente minero. hasta hace pocos años producía minerales de estaño principalmente, wolfram, antimonio, plomo y plata. A consecuencia de la baja repentina de los precios del estaño en el año 1985 en el mercado internacional, se ha dado paso a la explotación de oro como un nuevo recurso económico. Se conoce que Bolivia posee grandes depósitos auríferos en todo su territorio.

El alto índice de desocupación en el país ha generado la creación de una infinidad de empleos de tipo informal, ha llevado a un gran sector de la población desempleada a buscar un modo de vida que le permita subsistir. Esta fué la causa para que muchos mineros que trabajaban en COMIBOL y otras empresas estatales, se trasladaran a regiones como las provincias del Norte del Departamento de La Paz. a los departamentos del Beni. Pando y Cochabamba. a colonizar los bosques con la consiguiente tala de árboles de mucho valor económico, ó para destinar las tierras a sembradíos de

monocultivos. Los ejemplos a citar son preocupantes. el caso de la coca en Chapare, la explotación de oro en el norte de La Paz y en Araras, Pando, la agricultura en Yucumo, Beni; todas éstas son zonas de colonización que en algunos casos ocupan Areas Protegidas ó Parques Nacionales. El PARQUE NACIONAL Y AREA NATURAL DE MANEJO INTEGRADO COTAPATA, es parte de esta problemática. porque en una zona donde hace más de 10 años se establecieron mineros relocalizados. que actualmente están organizados en cooperativas y sindicatos. se creó un Parque Nacional para preservar un ecosistema importante en valores genético - biológicos y de tradiciones culturales.

Indudablemente la tarea que se tiene hacia adelante es enorme. la actividad minera busca expandirse. por ésto se hace necesario sentar bases. principios y métodos de protección ambiental más adecuados, pero también deben proponerse el uso de tecnologías adecuadas que reduzcan ó neutralicen las emisiones de residuos contaminantes.

Esta situación no debe estar separada de la promoción educativa y del desarrollo de la ciencia y tecnología para el control ambiental. para poder llevar a cabo ése propósito son necesarios recursos materiales. de la capacitación de los recursos humanos y de la concientización de los actores.

La gama de impactos de la actividad minera es muy amplia, los más importantes son:

- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- Contaminación de suelos, aguas, fauna acuática, fauna terrestre y flora,
- acumulación de arenas y lamas provenientes de los ingenios

- residuos sólidos,
- emisiones de polvo producidas en las diversas fases de la minería y en algunos casos portadoras de metales pesados
- transformaciones del paisaje, apertura de tajos abiertos, diques de colas, acumulación de rocas y otros subproductos.

Otros impactos son: ruido. erosión. impactos a la salud humana por la deficiente aplicación de programas de salud ocupacional y de seguridad industrial.

Se conocen varias técnicas para la recuperación del oro de sus minerales, en la Pequeña Minería, la más utilizada en muchas partes del mundo. es la técnica de la amalgamación. Esta técnica es de fácil aplicación y se la utiliza a pesar de sus graves consecuencias para la salud humana y la de los ecosistemas.

El presente trabajo de tesis pretende contribuir al conocimiento del impacto ambiental de la minería del oro, a través del análisis químico de mercurio en sólidos suspendidos, sedimentos y peces provenientes de la subcuenca del Parque Nacional Cotapata.

2. OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo de tesis son:

- a) Evaluar la contaminación ambiental de los ríos **Chairo y Huarinilla** debido a las actividades mineras, a partir de la determinación de las concentraciones de mercurio en sólidos suspendidos, sedimentos y peces, colectados en las aguas de la zona de estudio.

- b) Elaborar un diagnóstico preliminar cualitativo del impacto ambiental ocasionado por la minería, a través de la observación del área de influencia de las cooperativas auríferas asentadas en la zona de **COTAPATA**, determinando la ocupación y utilización de los suelos y de la vegetación.

3. GENERALIDADES

Los problemas ambientales han cobrado importancia a partir de los años cincuenta como consecuencia de la Revolución Industrial en Europa. esta revolución trajo consigo un aumento de los índices de contaminación ambiental. La polución, la destrucción de la capa de ozono, los contaminantes contenidos en los alimentos, la amenaza de lluvias ácidas, la desertificación de las tierras y otros problemas. que se han convertido en la preocupación de todo el mundo, porque afectan a la calidad de vida de la sociedad actual.

El ser humano se ha dado cuenta que forma parte del medio ambiente, lo que ha provocado un cambio de actitud importante en las personas. porque al proteger al medio ambiente se protege al hombre.

Organismos internacionales como el Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo exigen estudios ambientales antes de proceder a financiar proyectos de gran magnitud.

En nuestro país, con la creación del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, se está dando énfasis a la protección de nuestro medio ambiente y a su sostenibilidad en el tiempo, a través de la aplicación de leyes y sus reglamentos.

3.1. Ciclo global del mercurio

El ciclo global del mercurio en el sistema general tierra-océano-atmósfera, fue evaluada recientemente por Mason (*Mason et al.*, 1994), de acuerdo al esquema de la figura N° 1.

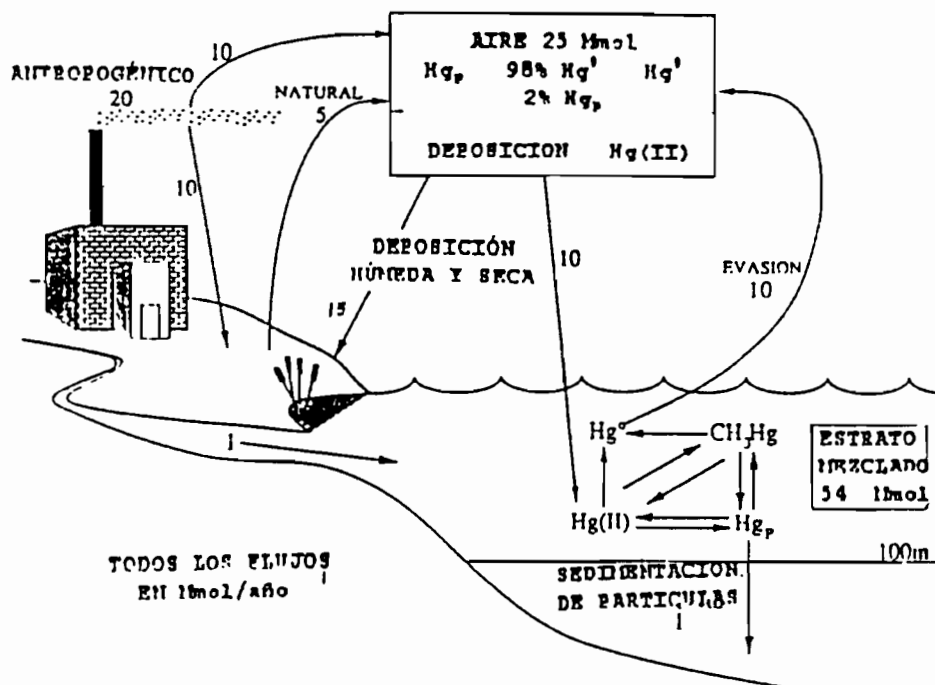


Figura 1. Ciclo global del mercurio (*Mason et al.*, 1994)

Se constata que el océano es a la vez un pozo y una fuente para el mercurio atmosférico. Los depósitos atmosféricos son a su vez la fuente mayor de mercurio para el océano, éste recolecta el 90% del mercurio atmosférico seco y húmedo (10 Mmoles/año). El flujo de evasión de Hg⁰ del océano hacia la atmósfera es casi igual a los aportes atmosféricos. La pérdida del mercurio del océano hacia la atmósfera representa alrededor del 30% del flujo total. Las emisiones antropogénicas directas hacia la atmósfera son evaluadas en 20 Mmoles a⁻¹ y la media próxima a 57% de emisiones totales. De otra parte los flujos de depósito

atmosférico son mayores al flujo fluvial, estimada en 1 Mmol a^{-1} para una concentración media de mercurio total en los ríos de 25 pM.

Los depósitos atmosféricos transferidos al océano son principalmente a través de precipitaciones, pero los depósitos secos pueden representar una tercera parte del depósito total hacia los sistemas terrestres. Mason *et al* 1994 a. muestran que la estimación de depósitos terrestres secos y húmedos (15 Mmol a^{-1}) es más débil que las estimaciones de emisiones totales, antrópicas y naturales (25 Mmol a^{-1}). Luego alrededor de 10 Mmol a^{-1} de las emisiones antrópicas no se toman en cuenta, por no contribuir a un ciclo global del mercurio. Una parte importante de las emisiones antrópicas del mercurio es depositado localmente. Por el contrario todo el mercurio metálico y una parte del mercurio iónico es transportado lejos de las fuentes.

Como la mayor parte del mercurio depositado en el océano es reciclado dentro de la atmósfera, el medio terrestre es el principal pozo de mercurio atmosférico. El mercurio depositado sobre las tierras es lentamente conducido hacia aguas dulces, aumentando la influencia de la duración de vida del mercurio de origen antrópico (Mason *et al*, 1994).

En el caso particular de las actividades mineras de explotación de oro, el mercurio emitido a la atmósfera “ en forma “ elemental sigue un ciclo específico a través de toda la cadena trófica.

Un caso concreto es el de la Región Amazónica Brasileira. el Departamento de Medio Ambiente de Rondonia presume que entre los años 79 al 85, se han descargado al río Madera aproximadamente 100 Ton de mercurio (Consema, 1986), de los cuales 45% ha ido a parar al río y 55% ha pasado a la atmósfera (Pfeiffer y Lacerda, 1988).

La Figura N° 2 muestra con detalle el ciclo local del mercurio, al que nos referíamos.

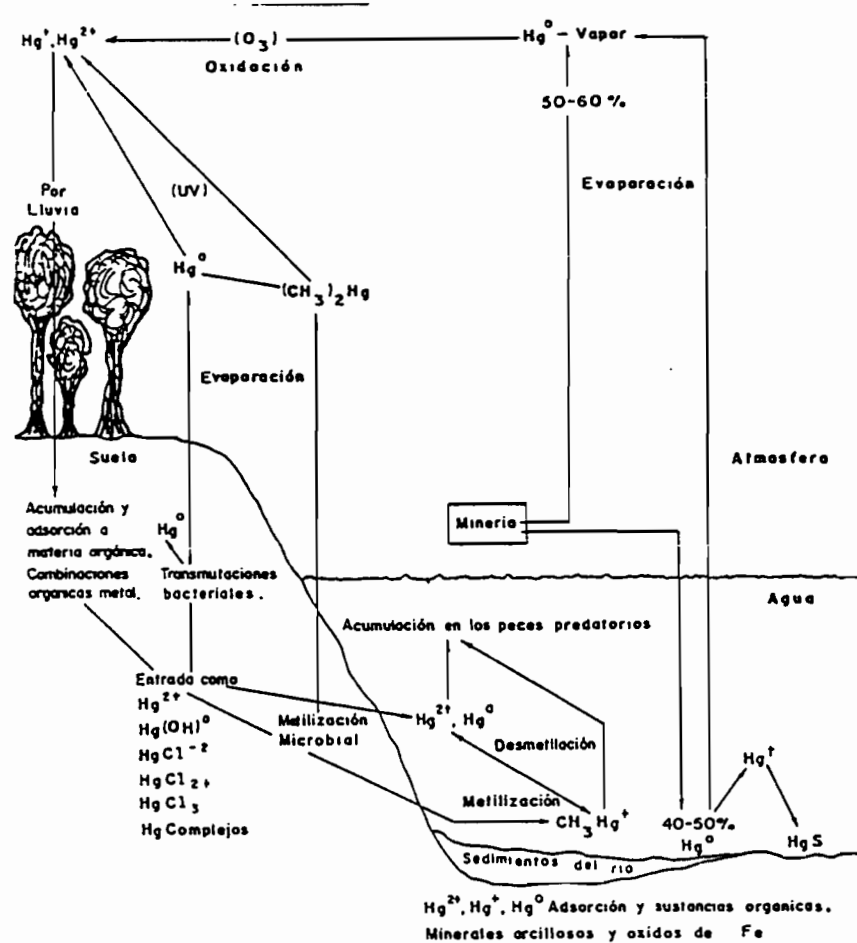


Figura N° 2. Mercurio proveniente de la minería aurífera y su circulación dentro del medio ambiente (Tools for Mining, GTZ, 1972)

Formas particulares.

Las partículas en un ecosistema acuático están compuestas de materia biológica como algas, bacterias, restos orgánicos, y de compuestos inorgánicos, minerales arcillosos, óxidos, hidróxidos y carbonatos. Estas partículas tienen tamaños menores a 0,1 μm hasta varios mm (Sig *et al.*, 1992).

Según Benes y Havlik (1979), la adsorción de Hg en los sólidos suspendidos es la razón principal de la predominancia de la forma particular en ciertas aguas naturales. El Hg tiene en efecto una gran afinidad por la materia en suspensión y sobre todo por la materia orgánica. La afinidad del Hg por los grupos sulfhidrilos, le permite ligarse a la materia orgánica particular, sea ésta viva como el plancton ó sea detrítica como el humus y turba (Gavis y Ferguson, 1972).

3.2 Propiedades del mercurio

El mercurio fue mencionado por Teofrastos (300 AC) (Babor é Ibarz, 1960) y por Aristóteles (350 AC), (Winteringham, 1972). es el único metal líquido a temperatura ambiente, tiene propiedades curiosas como alta densidad ($13,596 \text{ g/cm}^3$ a 0°C), su relativamente alta presión de vapor ($8 \times 10^{-3} \text{ mm Hg}$ a 40°C ; $270 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$ a 100°C), punto de fusión de $-38,87^\circ\text{C}$, punto de ebullición de 357°C (Cotton y Wilkinson, 1978) y su consecuente volatilidad, además de su capacidad de disolver (amalgamar) metales como cobre, cinc, plomo, plata y oro.

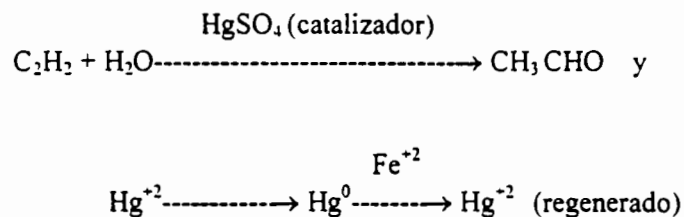
Debido a su mayor capacidad para formar enlaces covalentes, el mercurio forma numerosos compuestos organometálicos del tipo R_2Hg y $RHgX$, que son estables frente al agua (Cotton y Wilkinson, 1978)

3.2.1 Usos del mercurio

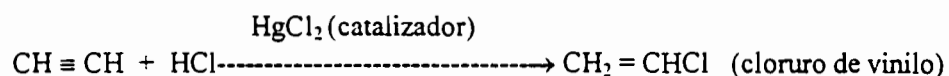
Las propiedades tóxicas del mercurio y de sus compuestos, son conocidos desde tiempos antiguos, sin embargo algunos compuestos como la solución del cloruro mercúrico, fue uno de los primeros antisépticos usados en medicina (Winteringham, 1972).

Algunos compuestos de mercurio fueron también utilizados como fungicidas en la agricultura para el tratamiento de semillas. por más de medio siglo (Rissanen y Miettinen, 1972); se comprobó que algunos compuestos eran bastante seguros y no tóxicos, por eso su utilización en preparaciones dentales (amalgamas de plata y estaño). Se practicaron análisis de radioactivación en un grupo de control de mujeres, los resultados fueron negativos con respecto a la toxicidad del compuesto (Saito, 1972). Actualmente se aplican otros métodos en odontología.

Su uso extensivo en la electrólisis para la producción de la soda cáustica, a partir del cloruro de sodio. en la producción de fármacos pinturas, industria de la pulpa de papel y su uso general en laboratorio, como es el caso del sulfato de mercurio que es un excelente catalizador para la hidratación del acetileno que se transforma en acetaldehído según la siguiente reacción química:



El cloruro mercúrico (veneno), adsorbido sobre carbón activado es un buen catalizador para la producción de cloruro de vinilo, de acuerdo a la siguiente reacción:



3.2.2 Toxicología del mercurio y de sus compuestos.

Un ejemplo lamentablemente famoso, relata que las descargas de mercurio desde una planta química en la bahía de Minamata, Japón, ocasionaron serios problemas sociales (Saito, 1972). La planta, una de las muchas en Japón para la producción de acetaldehído y cloruro de vinilo, utilizaba mercurio como catalizador. Se estima que echaron al medio ambiente 200 ton de mercurio entre 1960 y 1964; el mercurio se fue acumulando en los sedimentos y peces de la bahía, la población que habitaba y se alimentaba de la pesca, comenzó a sufrir una extraña enfermedad denominada “**Enfermedad de Minamata**”. Cuidadosas investigaciones realizadas por un grupo médico japonés, demostraron que los enfermos de Minamata mostraban síntomas típicos de intoxicación por compuestos de metilmercurio.

Los operadores de la planta modificaron inmediatamente el sistema de producción a fin de minimizar los desechos de mercurio a la bahía, hasta llegar al valor de 0,01 ppm, sin embargo los niveles de mercurio aún son del orden de los cientos de ppm (*Malm, 1991*).

Son muchísimos los casos de intoxicación con metilmercurio. En 1865, dos técnicos de un laboratorio de Físicoquímica, en Londres, Inglaterra, que trabajaban con metilmercurio, presentaron adormecimiento en sus manos, sordera, visión debilitada, inflamación de encías y muerte posterior (*Malm, 1991*).

La ingesta de alimentos contaminados por MeHg, fueron la causa de intoxicación en grandes proporciones en Japón y en Canadá, en Irak (1956, 1960 y 1970), en Pakistán (1961), en Guatemala (1963), en los Estados Unidos (1969), en Samoa, Perú, Groenlandia é Italia (*Malm, 1991*).

3.3 Enfermedades asociadas al mercurio.

a) Con mercurio metálico.

-bronquitis aguda,

-cataratas

-edema pulmonar agudo,

-insuficiencia renal crónica,

-mercurialismo,

-síndrome de compromiso nervioso central.

b) Con sales inorgánicas de mercurio.

- Ceguera,
- dermatitis exfoliativa,
- gastroenteritis aguda de tipo químico y colapso,
- gingivitis,
- nefritis crónica y nefritis é insuficiencia renal agudas.

c) Con compuestos orgánicos de mercurio,

- daño cerebral y daño cerebral fetal.
- síndrome neurológico similar a la esclerosis lateral amiotrófica (Galvao y Corey, 1987).

Después de conocer los efectos de la contaminación mercurial, debemos tomar en cuenta la situación de las poblaciones indígenas de las tierras bajas de nuestro territorio. Como parte de su cultura ellos viven de la caza y de la pesca. La minería utiliza mercurio en el proceso de beneficio del oro, quema la amalgama y la descarga a la atmósfera y a los ríos. las aguas transportan el mercurio junto con los lodos y la materia orgánica, a lo largo de los ríos la materia orgánica es consumida por la fauna acuática que forma parte de la cadena trófica. A través de la atmósfera afecta también a otras especies domésticas como aves y sus huevos, a especies de animales predadores. Estudios específicos revelaron procesos de bioacumulación y biomagnificación porque existe afinidad entre el MeHg (forma disponible) y la biota (*Westöö, 1966*), (*Borg et al, 1965*).

3.3.1 Reacciones y transformaciones del mercurio

La forma más tóxica de los compuestos de mercurio es el metilmercurio. Los riesgos para la salud humana han sido estudiados y evaluados por diferentes investigadores, a partir de los problemas ocasionados en la bahía de Minamata.

La evaluación del riesgo de la exposición a compuestos metilmercuriales, se basa en observaciones sobre las concentraciones de mercurio en muestras de cabello y sangre y estimaciones de aportes a través de la dieta (OMS, 1976).

Nordberg y Strangert (1976), estiman los riesgos a la salud basándose en los periodos de semieliminación biológica, ellos estimaron la probabilidad de un individuo de manifestar síntomas de parestesia, sus cálculos estuvieron basados en los datos de Shahrstani y Shihab (1974).

Bakir *et al* (1973), calcularon la relación entre la frecuencia de la parestesia y las cargas corporales.

Malm (1991), en un aporte a través de sus investigaciones bibliográficas, menciona que el MeHg (forma más tóxica, biodisponible), se forma a partir del mercurio inorgánico, hecho que ha sido demostrado por diferentes experimentos de laboratorio, en procesos fisicoquímicos y biológicos, aunque todavía no son bien comprendidos. La relativa estabilidad de los compuestos alquilméricos es un factor importante respecto de la toxicidad y los riesgos para la salud humana (Tonomura *et al*, 1968).

Los estudios de Skerfving *et al* (1974), han indicado que puede haber rupturas cromosómicas asociadas con la exposición al metilmercurio, aunque esta teoría ha sido refutada, sin embargo los experimentos en animales y otras formas de vida indican el potencial de lesión genética que presenta el metilmercurio (OMS, 1976).

La concentración del MeHg en los sedimentos, agua y peces están influenciados por la concentración de mercurio en la interfase sedimento-agua, pero principalmente por la actividad microbiológica del ambiente. Factores como la cantidad de oxígeno disuelto, materia orgánica disponible, intervienen en procesos bioquímicos adecuados para la transferencia de grupos metilo. Otros factores son pH, Eh, temperatura, pero fundamentalmente la presencia de mercurio en forma bivalente (Hg^{+2}) (Malm, 1991).

Investigadores suecos demostraron é identificaron fuentes de mercurio (Hg^{+2} , fenilmercurio, metoxietilmercurio), capaces de formar MeHg y Me_2Hg , en procesos de metilación bajo condiciones anaeróbicas mediante bacterias aisladas de extractos de suelos (Jensen y Jernelöv, 1972).

Fueron descritos procesos orgánicos en sistemas abióticos a partir de ácidos húmicos. Se identificaron bacterias sulfato reductoras como mediadoras de metilación (Fagerström y Jernelöv, 1971). Los procesos de metilación han sido identificados como mecanismos de detoxificación, porque la bacteria posee un sistema sensible al MeHg. (Kitamura *et al*, 1969). De la misma forma, la reducción de Hg^{+2} a Hg^0 , menos tóxico es un proceso realizado por bacterias particularmente del género *Pseudomonas* (Yoshida, 1967). Hoy se

conoce que el mercurio metálico puede ser oxidado a mercurio bivalente por innumerables bacterias (*Werner, 1967*).

3.3.2 Metabolismo del mercurio en el organismo humano

El organismo humano retiene aproximadamente el 80% del vapor de mercurio inhalado, no se conoce sobre la cantidad de otras formas de mercurio retenidas por los pulmones. La absorción de compuestos de mercurio inorgánico, es del 7% del total de la dosis ingerida de alimentos, en cambio, la absorción gastrointestinal de metilmercurio es total. No se tienen datos de la absorción cutánea, pero se sospecha que la mayor parte del mercurio puede atravesar la piel en alguna medida, se han constatado casos de intoxicación por metilmercurio a través de la piel (*OPS/OMS, 1978*).

En experimentos con animales se ha comprobado que el riñón acumula concentraciones tisulares más elevadas, independientemente de la forma de mercurio que se administre. La distribución de mercurio entre hematíes y plasma, depende de la forma de mercurio; la relación hematíes/plasma más elevada en el hombre es 10 con respecto al MeHg, y la más baja aproximadamente 1, con relación al Hg inorgánico.

En las personas expuestas al metilmercurio, el cabello es un medio muy útil, para detectarlo, la concentración de MeHg en la sangre es proporcional a la cantidad presente en el momento de formación del cabello (*OPS/OMS, 1978*).

La mayoría de las formas de mercurio se eliminan por la orina y las heces, en trabajadores expuestos por largo tiempo a vapores de mercurio, la excreción urinaria excede ligeramente a la eliminación fecal (OPS/OMS, 1978).

Los datos obtenidos en animales indican que el vapor de mercurio elemental atraviesa rápidamente la placenta. La transferencia transplacentaria en el hombre está bien documentada, las concentraciones de mercurio en el plasma de la madre y el recién nacido son similares, pero la concentración de los hematíes fetales son superiores en un 30% a la concentración en los de la madre. (OPS/OMS, 1978).

3.4 Valores de mercurio recomendados

En la tabla N° 1, se encuentran valores de mercurio recomendados por diferentes Organizaciones e investigaciones realizadas.

Tabla N° 1. VALORES RECOMENDADOS

Valores recomendados	OMS/OPS/FAO	Bolivia (*)	Brasil	BEDS(**)
Agua potable (µg/l)	1,0			
Aguas (µg/l)	0,2	1,0		1 a 174
Sólidos suspendidos (µg/g)	1,0	0,2		
Sedimentos (µg/g)	0,8	0,8		3,8 a 6,4
Peces (µg/g)	0,2		0,5	

(*) Reglamento N° 1333 de la Ley del Medio Ambiente

(**) En: *Gaudet et al (1995)*

3.5 Antecedentes bibliográficos en Bolivia

La bibliográfica muestra la importancia de las investigaciones sobre la utilización del mercurio en la minería del oro, especialmente en Japón y Brasil. En Bolivia se realizaron muy pocos estudios sobre este tema, uno solamente dió resultados en sedimentos, sólidos suspendidos y peces.

Presentación de los dos estudios sobre el mercurio en Bolivia

1. El trabajo de investigación : “Estudio del Impacto Ambiental por la explotación del oro, en la región de Nueva Esperanza, Araras del Departamento de Pando” (*LIDEMA, 1992*), fué realizado por un grupo multidisciplinario de investigadores, en su mayoría de la Universidad Mayor de San Andrés, con el apoyo financiero del PL-480, LIDEMA y CORDEPANDO. La zona de estudio forma parte de la Amazonía Boliviana, colindante con la República del Brasil, donde existe una explotación aurífera intensiva.

Los resultados son los que se muestran a continuación y algunos de ellos servirán más adelante para comparar con los resultados obtenidos en la presente tesis para el Parque Nacional COTAPATA.

2. El otro estudio es el de Harrison (1993), quién ha investigado sobre la contaminación por mercurio, en dos regiones de Bolivia, en Yungas (Tipuani, Guanay y Teoponte) y en minas de la Cordillera Real, en las localidades de Lipichi y Sorapata, cerca de la frontera con el Perú. Investigó sobre aguas, sedimentos, sólidos suspendidos y líquenes.

3.5.1 Presentación de los resultados obtenidos en la cuenca amazónica

El trabajo considera 24 puntos de muestreo, las muestras fueron recogidas en abril, época de aguas altas y en septiembre ó época de aguas bajas del año 1991.

Valores publicados para aguas y sólidos suspendidos.

Los contenidos de mercurio obtenidos en aguas son menores a $0,2 \mu\text{g/l}$, límite de detección. También se determinaron concentraciones de mercurio en sólidos suspendidos, las concentraciones de mercurio adherido a partículas gruesas varían entre $0,01 \mu\text{l}$ a $0,88 \mu\text{g/l}$; el mercurio adherido a partículas finas varia desde cantidades menores a $0,01$ hasta $0,03 \mu\text{g/l}$. Se determinaron cantidades de mercurio adsorbido, considerando que éste está adherido a las partículas en suspensión, en sólidos suspendidos gruesos, varía desde concentraciones menores a $0,01$ hasta $0,9 \mu\text{g/l}$, en sólidos suspendidos finos desde $0,1$ hasta $2,85 \mu\text{g/l}$.

Los autores concluyen que, al contener los sólidos suspendidos finos cantidades de mercurio mayores a los límites fijados por la OMS/OPS ($1 \mu\text{g/l}$), existe contaminación que circulará a través de la cadena trófica (plancton, peces, hombre).

Valores publicados en los sedimentos

Los sedimentos de las riberas de los ríos contienen bajas cantidades de mercurio, de $0,01$ a $0,128 \text{ ppm}$, esto es posible debido a que los sedimentos se componen principalmente de arena. los valores de $0,01$ y $0,028 \text{ ppm}$, en Riberalta y Guayaramerín están en relación de diez a cientos de veces más bajos que en sólidos suspendidos, se ha demostrado que el

mercurio se concentra mejor en partículas menores a $74 \mu\text{m}$ (Lucas *et al*, 1986), seguramente por el contenido de materia orgánica.

No sucede lo mismo en el fondo del lecho de los ríos, puesto que se han encontrado valores mayores a 10 ppm, en Villa Bella y Periquitos. En Araras, los valores son de 162 ± 15 ppm. En islas de Araras los valores son iguales a 5.5 ppm, a medida que el arroyo se aleja del centro de Nueva Esperanza, las concentraciones de mercurio disminuyen. En Bolivia el límite admisible en sedimentos es de 0,80 ppm.

Valores publicados en peces.

De todas las especies estudiadas, solo se ha considerado la especie Characidae porque es una de las dos especies colectadas en nuestra campaña de muestreo.

Los valores encontrados en épocas de aguas altas y aguas bajas, para Araras-río Madera en la desembocadura de los arroyos de Nueva Esperanza, en tres muestras de peces son de 148, 342, 385 ppb respectivamente. Para Villa Bella, se tiene un promedio de 545 ppb. Para Manoa, donde se analizaron 18 ejemplares, los valores varían entre 37 y 6375 ppb. En Riberalta obtuvieron 294 ppb. Los resultados muestran que la mayor parte de los ejemplares de peces contienen altas concentraciones de mercurio, estos valores sobrepasan el valor límite fijado por la OMS es de 200 ppb.

Como una conclusión importante, los autores opinan que la mayor contaminación ambiental se encuentra en los centros poblados, porque es en ellos donde se hace la quema de la amalgama.

El método utilizado para la obtención de los resultados fue el de absorción atómica con vapor frío. Sin embargo, el método no es el adecuado para el análisis de mercurio en aguas, por la baja solubilidad del elemento, cuyas concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección del equipo.

En los análisis de sedimentos y de peces, el método se adecúa mejor debido a las altas concentraciones de mercurio, pero, en todos los casos, no existe confiabilidad en los resultados porque no se menciona en el trabajo si se tiene una referencia de intercalibración de resultados con otros laboratorios.

3.5.2 Presentación de los resultados obtenidos en la Cordillera Real y en los Yungas

Resultados obtenidos para aguas, sedimentos y sólidos suspendidos

Los resultados para la región de los Yungas, son para aguas desde valores menores que 0,05 hasta 0,5 ppb. Para sedimentos, sus valores están entre 0,005 y 0,05 $\mu\text{g Hg/g}$, se observa que son valores bajos. En sólidos en suspensión el mercurio se encuentra mucho más concentrado, de 1 a 22 $\mu\text{g Hg/g}$. En líquenes, de 0,9 a 0,35 $\mu\text{g/g}$.

Interpretación de resultados

Los valores de mercurio obtenidos para la Cordillera Real y para las localidades de Lipichi y Sorapata, son mayores que para Yungas, estos valores sorprendieron al investigador, él concluye en base a la historia de la región. Mientras que en la actualidad los mineros utilizan retortas las que minimizan la contaminación en Yungas.

Tanto en Yungas como en la cordillera, solamente las partículas finas contienen niveles elevados de mercurio, esto se explica porque, entre el mercurio y las partículas finas existe una mayor afinidad debido al mayor contenido orgánico de las partículas, aspecto técnico que revela que únicamente la fracción fina de los sedimentos son amalgamados. En Yungas, también juega un rol importante la temperatura, que hace que exista una mayor actividad bacterial, por lo que el mercurio elemental se oxida a Hg^{+2} y se combina con la materia orgánica presente.

El método utilizado en los análisis químicos, fue el de absorción atómica y vapor frío, los análisis fueron hechos en los laboratorios del Instituto de Geología Económica, de la Universidad Mayor de San Andrés, (Velasco, comunicación personal, 1996).

Los resultados de este trabajo son preliminares, se sabe que el informe final no está aún publicado oficialmente, pero, si los resultados son definitivos, las concentraciones de mercurio obtenidas son de poca confiabilidad, porque no se menciona si estos resultados fueron obtenidos mediante intercalibración con otros laboratorios acreditados.

3.6 Otros antecedentes bibliográficos

Investigaciones hechas en Canadá, por Gaudet *et al* (1995), informan que los valores recomendados por Biological Effects Database (BEDS), para sedimentos y para mercurio total en agua natural en el medio ambiente, está entre 0,001 y 0,174 mg/Kg, mientras que el umbral toxicológico (Threshold Effect Level: TEL), está asociado con efectos biológicos adversos. Para agua natural, los Niveles de Probables Efectos (PEL) es de 0,486 mg/l.

Wolf von Tümping (1994), realizó investigaciones en el Ecuador, en las regiones de Zaruma y Portovelo, a través del Programa Minería sin Contaminación, de COTESU. En esta zona aurífera y de intensiva explotación, determinó concentraciones de mercurio en agua, sedimentos y aire, con los siguientes resultados:

En el curso superior de los ríos, donde no hay intervención humana, los valores en agua y sedimentos son de 0,07 a 0,33 $\mu\text{g/l}$, estos valores están por debajo de los niveles permisibles. En los cursos inferiores de los ríos, las concentraciones son de 8 $\mu\text{g/l}$, de este valor más del 90% está ligado a partículas en suspensión. En las zonas contaminadas, los sedimentos tienen concentraciones 10 veces mayores respecto de las no contaminadas y se pudo evidenciar que la contaminación proviene de las plantas de amalgamación y de los molinos del mineral.

Según la reunión de Estocolmo en 1994, donde Jernelöv de Suecia informó que se estima que 4 ± 1 millones de mineros en el mundo, se dedican a actividades mineras auríferas

utilizando mercurio. En Brasil son 650 000 mineros, en Tanzania, 250 000, en Indonesia, 250 000, Vietnam, 150 000. La cantidad de mercurio usada anualmente es del orden de cientos de toneladas.

Un grupo de investigadores brasileiros, estiman que se pierden 130 ton de mercurio al año solamente en la cuenca del rio Amazonas, de los cuales 45% van al rio y 55 % a la atmósfera, todo esto a causa de la minería del oro (Malm *et al.* 1991).

El riesgo para la salud está dado por inhalación de vapores de mercurio ó por ingestión de peces en la dieta alimentaria. En el primer caso, el mercurio es elemental, en el caso de la ingestión, el mercurio está en forma de MeHg. La gente que vive en los alrededores de las minas y quienes tienen una fuente de proteínas en los peces provenientes de rios contaminados por mercurio, están expuestas a ambas formas de mercurio.

Numerosas investigaciones hechas en zonas auríferas importantes de la Amazonía, determinaron altas concentraciones de mercurio, los que afectan directamente a la salud de los pobladores de dichas regiones.

Akagi et al (1995), para el rio Tapajos reporta valores de mercurio total y MeHg en 45 muestras de peces, de pesos aproximados de 10 Kg. Los promedios son de 1,26 ppm de Hg total en Alta Floresta y 0,28 ppm en Jacareacanga. El límite permisible para peces en Brasil es de 0,5 ppm.

Pffeifer et al (1992), en una revisión de los trabajos realizados hasta ~~ése~~ año, determinaron que 1 millón de personas están involucrados en la minería del oro en Brasil. y que se utilizaron 165 ton de Hg en la década de 1979 a 1989. Estimaciones de *Ferreira et al* (1992), reportan que en 1989, se importaron 337 ton de mercurio, de los cuales 210 ton se perdieron en el ecosistema.

Las zonas de mayor actividad minera en Brasil son Roraima, Amapá, Gurupi, Rio Tapajos, Carajás, Crixás, Paraiba do Sul, Alta Floresta, Poconé y Rio Madera (*Ferreira et al, 1992*), todas estas regiones fueron investigadas por numerosos científicos renombrados.

Palheta y Tailor (1995), investigaron en la región de Gurupi, en la villa de Cachoeira, en los rios Piria y Macaco, analizaron mercurio en pieles de cerdos, ovejas , ganado vacuno, en aguas y peces de rios. en sangre, cabello y orina de la gente de esas zonas, los valores encontrados se compararon con valores de areas no mineras. En ganado y cerdos, con acceso a rios contaminados, los valores están entre 0,1 y 1,28 $\mu\text{g/g}$ de pelo y entre 11,7 y 15,7 $\mu\text{g/l}$ en sangre. En la sangre de la gente no minera del área se encontraron 11,4 $\mu\text{g/l}$; 22,8 $\mu\text{g/l}$ en orina y 4,3 $\mu\text{g/g}$ en cabello. En la orina de los garimpeiros se encontró 155 $\mu\text{g/l}$. Estos resultados demuestran que la difusión del mercurio sucede a través de los alimentos.

Aks et al (1995), investigaron en el Estado de Pará - Brasil, en Punta do Pedras, localizado a orillas del rio Tapajos, afluente del Amazonas, el lugar de estudio se

encuentra a 800 m por debajo de la zona minera, se analizó sangre en los habitantes, encontrando en promedio 29,1 mg de Hg /l, este es el valor más alto encontrado entre los consumidores de pescado.

Barbosa et al (1995), determinaron concentraciones de mercurio en poblaciones indígenas, mineros y peces de la región amazónica brasilera. Se tomaron muestras orina, cabello y sangre. Los resultados mostraron que la cadena alimenticia acuática de la Amazonía está contaminada por MeHg, por lo cual los indígenas, buscadores de oro, ribereños y consumidores de peces están seriamente expuestos a problemas de salud.

Los resultados muestran que el 59% de las muestras de sangre pertenecientes a indígenas y el 33% a mineros, tienen concentraciones de 10 ng/ml. Los valores en orina, dicen que el 44% de indígenas tienen niveles de mercurio por encima de lo permitido y 30% por encima de los 20 ng/ml. todos ellos debido a la ingestión de peces contaminados.

Lars et al (1994), estudiaron la zona de Alto Pantanal, en el límite con Bolivia, que es una llanura de inundación, con flora y fauna únicos, con condiciones de vida salvaje abundante, con mamíferos raros y 650 especies de aves exóticas. Es un centro turístico muy importante del Brasil, además de zona ganadera tradicional. En los últimos años, la región se ha visto gravemente influida por actividades humanas, como el uso de agroquímicos en áreas de caza, al ser llanura de inundación, el agua arrastra estos químicos hacia los centros urbanos.

El Pantanal fué declarado por la UNESCO un área de interés mundial, pero se sabe que hoy está seriamente amenazado.

Alto Pantanal está formado básicamente por depósitos sedimentarios de cuarzo y silicatos de aluminio. Al analizar los suelos se encontraron concentraciones de mercurio entre 7,5 a 40 μg /g peso seco. Los sedimentos contenían grupos orgánicos fuertemente enlazados con el Hg y adheridos a partículas coloidales, donde los niveles de mercurio son altos en los horizontes de superficie, tanto como en los horizontes más profundos.

Se estudiaron dos especies de peces: piranha y pintado, con contenidos de Hg de 0,09 a 0,51 ppm y 0,05 a 0,95 ppm respectivamente. estas especies en algunos lugares tienen valores significativamente más altos, por ej. en Porto Jofré.

En especies de aves, como *C. stratus*, se encontró 6,23 $\mu\text{g}/\text{g}$, en *P. plancus*, 6,75 $\mu\text{g}/\text{g}$. Se conoce que altos contenidos de Hg en aves, ocasionó en Escandinavia la extinción de varias especies de aves. Lo alarmante es que en Porto Jofré la biomagnificación podría ser severa.

Los autores mencionan que es evidente que las aves de Descalvado son consumidoras de peces, lo cual aumenta sus niveles de mercurio, por lo que estas aves están amenazadas, incluida la especie (*Jabiru micteria*) que es un ave económicamente rentable. Los efectos en las aves son irreversibles.

Los autores concluyen que se deben tomar medidas de solución inmediatas como la legislación y la educación. Se sugiere la introducción de un efectivo control a través de tratados internacionales, para evitar las descargas de mercurio al medio ambiente global.

Las retortas para reciclar Hg, introducidas en Poconé, no eliminan el problema enteramente, ya lo reportó también Quispe (1995), solo disminuye las pérdidas de mercurio y lo que hace es posponer la severa degradación ecológica.

Tumpling (1995), investigó en Poconé, Estado de Mato Grosso- Brasil. Los valores para agua están entre 18 a 160 ng/l (filtrado). En sedimentos el rango es de 23 a 198 ng/g peso seco. En el aire, 6 ngHg/m³.

Malm *et al* (1990), investigaron a lo largo del río Madera, al SO del Amazonas. Los valores de mercurio en sedimentos sobrepasan los 157 µg/g dw; en peces son de 2.7 µg/g, lo que indica una fuerte contaminación. En cabellos humanos, se encontraron 26,7 µg Hg/g, lo que sugiere una alta exposición de la población local.

Malm (1990), cita que por cada Kg de oro recuperado se pierden por lo menos 1,32 Kg de Hg en el medio ambiente, asume que esta cantidad está subestimada, porque los mineros utilizan una relación de Hg:Au hasta 10:1.

El Departamento de Rondonia (Estado de Rondonia), colindante con Pando-Bolivia, presume que entre 1979 a 1985, se han descargado al río Madera 100 ton de Hg. Pero, en

los afluentes del río Madera se encontraron mayores concentraciones de Hg. A pesar de que algunos afluentes tienen actividad aurífera, esto se explica porque el río Madera tiene grandes flujos de agua, lo que arrastra también lodos suspendidos, por lo cual existe una gran dilución en el río principal. Por otra parte, al desbordarse el río Madera, exporta materia suspendida a sus riberas donde el transporte es lento y la sedimentación, rápida, permitiendo la acumulación de mercurio en los sedimentos.

Akagi *et al* (1995), investigaron en Alta Floresta y Jacareacanga. Es una villa de pescadores, con 3000 habitantes, cuya fuente de proteína es el pescado. Se encuentra a 700 Km más abajo de Alta Floresta, que es la ciudad más importante de Mato Grosso, y uno de los más importantes centros mineros del río Tapajos. Tenía una población de 136 000 habitantes hasta 1990, con una dieta alimentaria diversificada.

Los métodos de análisis de las muestras, fueron probados tanto en Japón como en los Laboratorios de Radioisótopos Eduardo Penna Franca de Rio de Janeiro- Brasil, después de comparar resultados, determinaron y confirmaron la aplicabilidad de los métodos, el equipo utilizado fue un espectrofotómetro de absorción atómica marca Varian, modelo 1475, provisto de un generador de vapor frío VGA-76.

Los resultados están fuera de lo normal, más del 90% del Hg total estaban en forma de MeHg en las muestras de cabello y sangre de los pobladores de las villas de pescadores. La orina de los comerciantes de oro, tenían valores promedio de 165 μg Hg/g creatinina, con un rango de 20 a 450 μg /g creatinina.

4 PRESENTACION GENERAL DEL AREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional COTAPATA, se encuentra en el Departamento de La Paz, ocupando la región de cordillera y sus primeras estribaciones (Ribera, 1995), tiene una superficie de 58.620 Ha, presenta una superficie mayor en la provincia Nor Yungas (Cantón Pacollo, 80%) y una superficie menor en la provincia Murillo (Cantón Zongo, 20 %) (Ribera, 1995).

Las coordenadas de referencia son: S68°02' y O16°20', S68°03' y O16°05' al S67°43' y O16°10' al S67°47' y E16°18', según la carta geográfica del Instituto Geográfico Militar, a escala 1:50000.

El area de estudio está representado por la figura N° 3, esta figura muestra a la vez los lugares de muestreo. El área de estudio abarca la región de Cotapata al norte del camino principal La Paz - Coroico, donde se encuentra la cabecera de la subcuenca andina y nacimiento del rio Chairo y se extiende hasta la población del mismo nombre.

Una presentación general del Parque Nacional de Cotapata, su medio social, su diversidad florística y faunística, el uso de su tierra, se encuentra en el anexo A.

El Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado: Cotapata, es una de las áreas protegidas del país, de reciente creación y está incluida en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) (Ribera, 1995). La administración del Parque estará a cargo de la Dirección Nacional de la Conservación de la Biodiversidad, dependiente del Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente.

El Parque Nacional fue creado por Decreto Supremo N° 23547, en fecha 9 de Junio de 1993, con el propósito de minimizar el impacto directo e indirecto de la construcción de la carretera Cotapata - Santa Bárbara, y de preservar un área que en una importante proporción permanece inalterada o poco intervenida debido al difícil acceso por la topografía abrupta y por sus pronunciadas pendientes. Debido a esto, el área debe categorizarse de estricta protección de cuencas hidrológicas y de preservación de sus bosques.

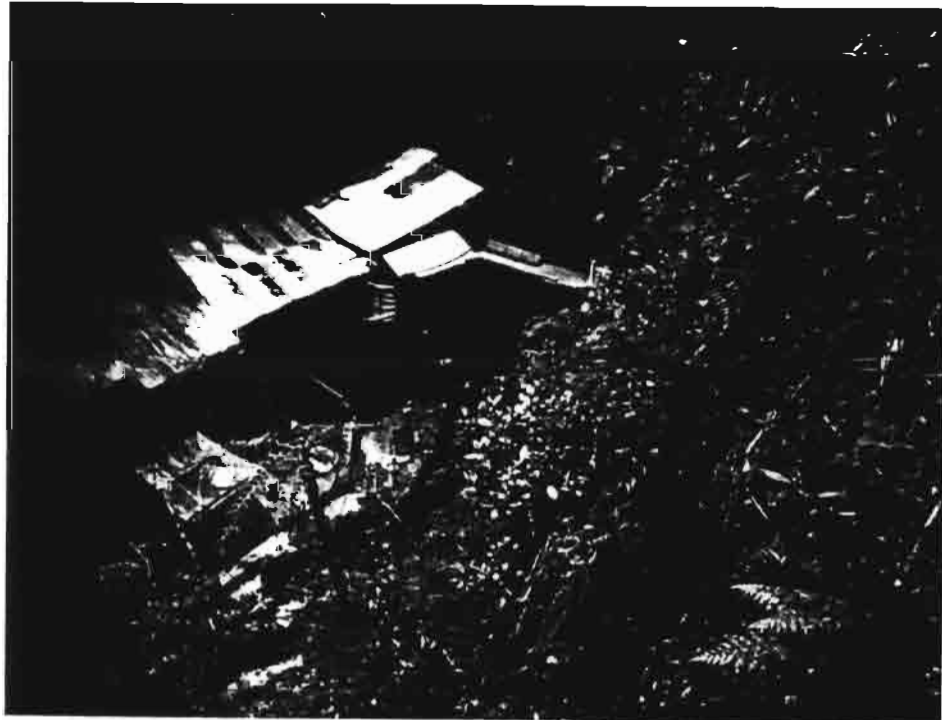
El área se encuentra flanqueada por la región cordillerana con picos que superan los 5500 msnm, el majestuoso Huayna Potosí que alcanza los 6088 msnm, no está dentro de los límites de la zona, pero se encuentra a corta distancia del límite oeste, en la zona de influencia directa.

El Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado COTAPATA, se encuentra circundada por la extensa cadena montañosa de Hornuni - Cruz Pata en el norte, y la cadena Pupusani - Chuspipata en el sur; en el centro del área y rodeada por las dos cadenas montañosas, se encuentra el amplio valle de los ríos Chucura y Huarinilla con las

poblaciones de el Chairo y Pacollo. El Area Protegida se encuentra entre los 5600 y 1100 msnm, abarcando cuatro grandes pisos ecológicos. La superficie propuesta del Parque es de 58620 Ha.

La Zona minera aurífera se encuentra ubicada a 58,3 Km de la ciudad de La Paz (Quispe, 1995), sobre la carretera troncal La Paz - Nor Yungas, en esta zona se han ubicado tres cooperativas mineras auríferas ocupando una superficie de 637 Ha.

La fotografía N° 1, muestra una pequeña parte de la zona donde se encuentra la cooperativa Unión Ideal.



Fotografía N° 1. Panorama de una parte de la zona minera (Cotapata, 1995)

La región de explotación de oro, abarca la naciente del río Chairo, entre los 3200 y 2900 msnm, según la hoja N° 6045 III del IGM, localizando Unduavi (Quispe, 1995).

La zona tiene un relieve topográfico sumamente accidentado, el acceso a las cooperativas mineras es una senda sinuosa con quebradas muy pronunciadas y abundante vegetación de bosque.

Por su ubicación altitudinal, distribución espacial y tipo de vegetación dominante, la zona pertenece al dominio fitogeográfico amazónico en la provincia de yungas. Forma parte de una angosta faja que se distribuye desde Venezuela en su extremo norte pasando por Bolivia, hasta el NO de la Argentina (CEEDI, 1990).

La región de Cotapata, corresponde a un **Bosque de Ceja de Montaña**, por lo que se presentan precipitaciones de 2000 mm al año (CEEDI, 1990).

4.1 Geología y Geomorfología

El área corresponde en su integridad a la parte central más importante del geosinclinal de eje granitoide de la Cordillera Real. En la zona existen depresiones tectónicas rellenas por sedimentos cretácicos terciarios y cuaternarios (Montes de Oca, 1989). A fines del Terciario existió una evolución avanzada del relieve y después una fuerte erosión que prosigue hasta el presente labrando profundos valles.

Según Montes de Oca (1989), durante el Pleistoceno diversas glaciaciones extendieron su influencia sobre la erosión y produjeron la deposición de sedimentos glaciales y fluvio-glaciales. Durante los periodos glaciales del Pleistoceno, las nieves en los Andes se encontraban a un nivel de 800 a 1000 m más abajo que hoy y se acumuló un abundante material fluvio-glacial en forma de depósitos de terrazas, a lo largo de los ríos producidos por el deshielo ó en forma de grandes abanicos de detritus al borde de las montañas.

La Cordillera Oriental propiamente dicha, está formada por rocas sedimentarias de edad paleozoica, lutitas y areniscas y por muchas intrusiones graníticas que resultaron del enfriamiento de magmas profundos, pero actualmente afloran a la superficie debido a la intensa erosión a la que están sujetas (Montes de Oca, 1989).

Esta impresionante dorsal montañosa, ejerce efectos determinantes en la meteorología y el clima de la región (Montes de Oca, 1989). La cadena montañosa ejerce la función de distribución de lluvia, la vertiente nororiental de la cordillera es mucho más húmeda ya que recibe los vientos húmedos de la cuenca amazónica y descarga su humedad al chocar y ascender por esa vertiente.

La Cordillera de La Paz conocida también como Cordillera Real *sensum strictum*, es la más importante y majestuosa de los Andes Bolivianos y se ubica en el valle formado por el río Consata por el norte y el río La Paz, en su flanco oriental se forman los Yungas del Departamento de La Paz (Montes de Oca, 1989).

En las partes húmedas de los Andes (Yungas), la erosión y la disección prosiguieron de modo continuo é intenso durante el Cuaternario, aunque en los tiempos postglaciales, los procesos de erosión han disminuido en actividad debido al desarrollo de una densa cubierta de vegetación que tiende a preservar el relieve existente (Montes de Oca, 1989).

Los Yungas forman valles profundos y reciben diferentes denominativos de acuerdo a su ubicación geográfica, por ejemplo Nor Yungas que es la región de interés para el presente trabajo. Los Yungas *sensum strictum* se sitúan entre los 2500 y 1000 msnm, mientras que los de Ceja de Yungas ó de Montaña entre los 3500 y 2500 msnm.

En la región, la presencia de grandes plutones cordilleranos conforman los denominados batolitos que son grandes masas de rocas ígneas donde predominan las granodioritas, monzonitas cuarsozas, adomelitas y tonalitas. Los batolitos más importantes son el Zongo-Tiquimani, Huayna Potosí, el de Chucura (Ahlfeld y Schlíder, 1964), este último que tiene sus inicios en la región de Coscapa, en las faldas orientales de la cordillera, cruza el río Zongo para tomar cuerpo en la región del río Chucura, tributario del río Coroico. Hacia el este, el batolito baja hacia la región boscosa hasta los 2800 msnm, cerca de la confluencia de los ríos Tiquimani y Chucura; entre las quebradas de los ríos Zongo y Chucura, la serranía abrupta é inaccesible del Tiquimani (5500 m), consiste de esquistos metamórficos y forma un resto de la cubierta sedimentaria. En la zona de contacto occidental no se conocen yacimientos wolfrámicos, éstos se encuentran en la zona de contacto SE y en el macizo del Tiquimani.

Según Ribera (1995), el valle del Huarinilla y sus afluentes se caracterizan por ser una zona rica en depósitos auríferos aluvionales, también existen en la zona filones granodioríticos que se caracterizan por la presencia de vetas cuarcíticas de oro subvolcánicas, muy relacionadas con yacimientos de wolfram, antimonio y bismuto; por encontrarse dentro de la faja estañífera, existieron algunas minas donde se explotaba casiterita.

Características morfolitológicas de la región

Las particularidades morfolitológicas de las unidades expresan un paisaje colinoso, con origen en el Ordovícico Medio. Esta etapa está conformada mayoritariamente por filitas, lutitas y pizarras, con intercalaciones de bancos de cuarcitas fuertemente fracturadas, diaclasadas y tectonizadas. Estas rocas están fuertemente trituradas y descompuestas *in situ* (CEEDI, 1990).

La formación Yungas está conformada por dos estructuras anticlinales bien conservadas: el anticlinal del río San Juan y el del río Huarinilla. Por otra parte, este río se destaca por ser uno de los cauces mayores de cursos de agua de la región, lleva consigo material clástico conformando gravas de cuarcitas, pizarras y clastos de rocas procedentes de los batolitos cordilleranos (CEEDI, 1990).

El área minera aurífera, está localizada en la zona de Cotapata. Quispe (1995), describe el lugar en un documento-informe sobre la ubicación de las cooperativas asentadas a diferentes altitudes y sus características geológicas. Este documento es el único estudio actual realizado en esta zona de explotación de oro.

4.2 Actividades mineras relacionadas con la explotación y el beneficio del oro

Actualmente, en el área, solo tres cooperativas principales se encuentran explotando oro. Nuestro estudio se refiere a la contaminación ambiental que ocasionan éstas.

4.2.1 Historia de la actividad minera en el sector Cotapata

La presencia de una mina abandonada (Mina Copacabana), en particular, en la cabecera izquierda del río Chairo es un testimonio de que hubo explotación de oro en otras épocas. Aunque no existe bibliografía al respecto, se conoce por tradición oral que los españoles estuvieron en la zona explotando oro.

El oro presente en la zona es de veta, es decir es material de roca primaria. Los mineros deben abrir tajos y socavones para extraer el mineral aurífero.

Después de la época de colonización, los mineros se han asentado en la zona desde hacen más de 10 años. Los primeros barranquilleros asentados extraían el oro aluvional, pero con el tiempo llegaron otros con experiencia en explotación de vetas (mineros relocalizados) a extraer aplicando la técnica de amalgamación y es lo que hacen actualmente. Todavía hoy se puede ver a hombres y mujeres en el río recuperando el oro que se pierde en el proceso de beneficio de las cooperativas.

4.2.2 Presentación de las cooperativas en actividad

Quispe (1995), durante su permanencia de 6 meses en 1995 en la zona, ha inventariado 9 minas, de las cuales solamente tres se encontraban todavía en actividad. Los mineros concesionarios de estas minas se han organizado en cooperativas, hecho por el que las zonas de explotación se denominan “cooperativas”.

Se ha constatado que la Cooperativa Virgen de Copacabana, antes mina Copacabana abandonada, se encuentra en plena actividad de explotación. Otra mina activa dentro del Parque, es la que está a orillas del río Huarinilla, la Cooperativa Tres Hermanos en la localidad de Pacollo. La Mina Esperanza, que se encontraba sobre la orilla izquierda del río Chairo, a unos 700 metros de la confluencia de los ríos Chairo y Huarinilla, dejó de funcionar al poco tiempo de ser inaugurada. En este trabajo se tomaron muestras en dos puntos cerca de esta mina cuando todavía estaba implementada.

Las 3 cooperativas estudiadas en el presente trabajo de tesis son se encuentra sobre la cabecera del río Chairo y son:

4.2.2.1 Cooperativa Jesús del Gran Poder.

Quispe la define geológicamente como un sector diaclasado, con fracturamientos estructurales en la pizarra (roca encajonante predominante) y fallamientos que desplazan la formación de vetas en longitudes cortas (60 m aproximadamente) y que ocasionan serios

problemas en la continuidad de las estructuras mineralizadas. Actualmente, los mineros explotan vetas cuyas potencias varían de 10 a 20 cm, que se encuentran en etapa de agotamiento.

En el proceso de extracción de oro en esta cooperativa, todo el mercurio utilizado en el trapiche (500 g) se pierde en el medio ambiente, durante la amalgamación se emplean también 500 g de mercurio y solamente se recupera el 75 % de la retorta. Estas cantidades se usan cada 15 días.

Esta cooperativa se encuentra a los 3150 msnm, ocupa una superficie de 137 pertenencias ó Ha y se está explotando oro desde hace 5 años. La fotografía muestra la entrada del mineral al ingenio, aquí es donde comienza el proceso metalúrgico.

La fotografía N° 2 muestra la entrada del mineral al ingenio, es aquí donde comienza el proceso metalúrgico.



Fotografía N° 2. Ingreso del mineral al ingenio de la cooperativa (Cotapata, 1995)

**FLUJOGRAMA DE BENEFICIO
MINA JESUS DEL GRAN PODER Y UNION IDEAL**

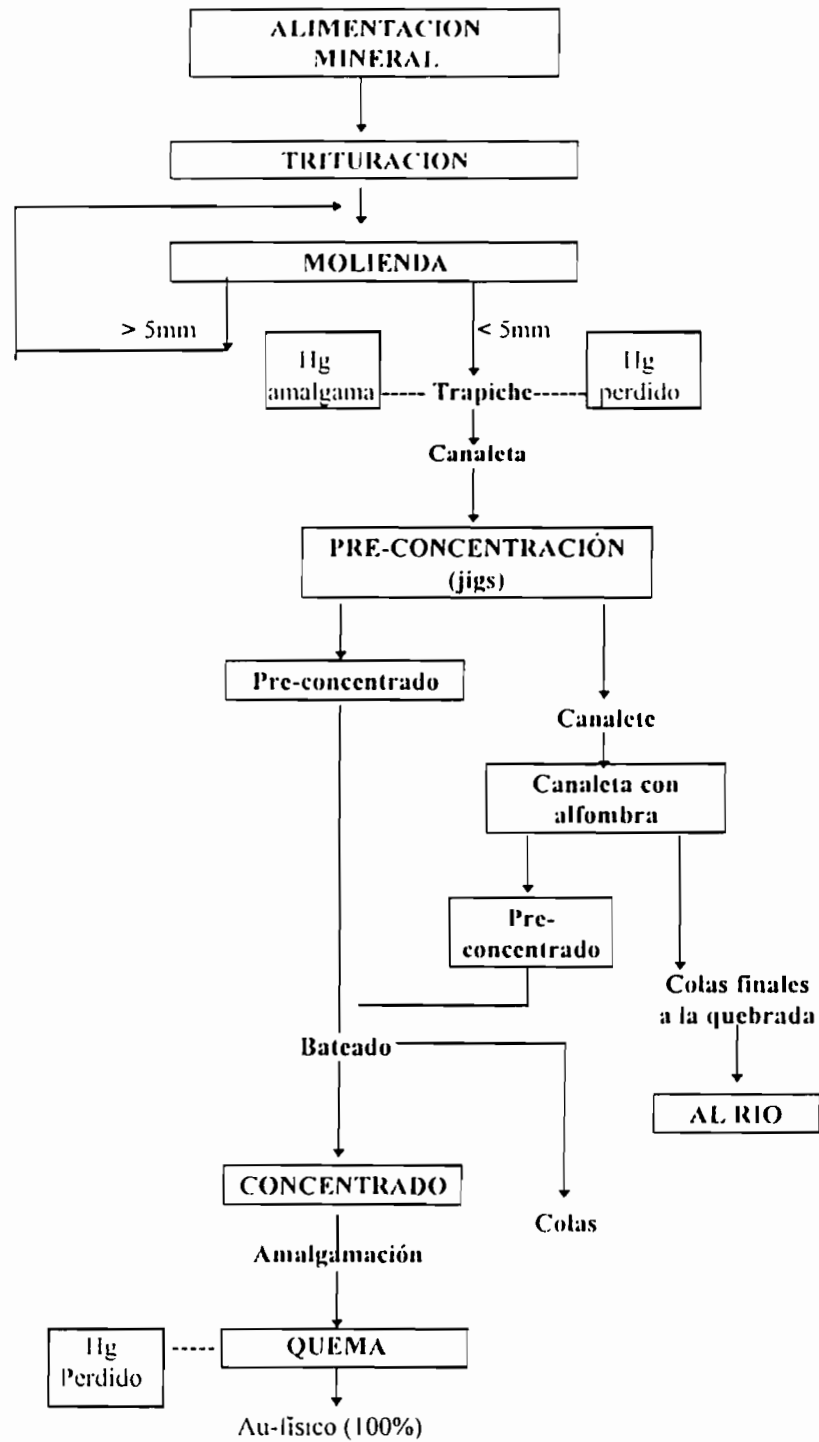


Figura N° 4. Quispe (1995)

4.2.2.2 Cooperativa Unión Ideal, se encuentra a 2950 msnm, bajando por el mismo sendero de ingreso. La geología del yacimiento (Quispe, 1995) corresponde a una estructura mineralizada continua y con roca encajonante competente, cuyo buzamiento es de 065° y rumbo norte 055° , con una potencia media de 0,80 m. Actualmente se explotan los “taqueos” (carga mineralizada en existencia). La parte SE de la estructura mineralizada, también en profundidad, ofrece perspectivas futuras por la continuidad de la estructura (Quispe, 1995).

La cooperativa está ubicada sobre la ladera derecha de la serranía que da nacimiento al río Chairo, ocupa una superficie de 500 Ha compartidas con la Cooperativa Cotapata. La cooperativa Unión Ideal se encuentra en la zona desde hace 5 años.

El proceso de explotación y beneficio del oro, que aplican las cooperativas Jesús del Gran Poder y Unión Ideal, presentado en el flujograma de la figura N° 4, utiliza mercurio en dos etapas:

- * al final de la molienda,
- ** durante la amalgamación.

Durante la 1° etapa el 100% del mercurio utilizado en el trapiche se pierde en la atmósfera en forma de mercurio elemental. En cambio durante la amalgama se recupera el 75% de los 500 g que se usan en esta segunda etapa. esta cooperativa utiliza 3000 g de mercurio cada 15 días.

4.2.2.3 Cooperativa Cotapata

Esta cooperativa se encuentra situada a 2900 msnm, sobre la ribera izquierda del río Chairo, las características geológicas particulares, son de roca encajonante, compuesta de pizarras competentes, albergando una estructura mineralizada principal de cuarzo aurífero (Quispe, 1995). Los mineros explotan oro veta en la zona, desde hace 15 años, (Callisaya, comunicación personal, 1996).

El proceso de extracción y beneficio del oro está esquematizado en la figura N° 5.

De la misma manera que las otras dos cooperativas, la cooperativa Cotapata utiliza mercurio en su proceso.

La maquinaria que usan es semimecanizada, cuentan con un tambor de amalgamación, esto evita en mayor proporción las pérdidas de mercurio al medio ambiente. La cantidad de mercurio que usan cada 15 días es de 500 g, de los cuales recuperan un 85% porque emplean una retorta para la quema de la amalgama.

La fotografía N° 3 presenta una parte de la maquinaria utilizada por esta cooperativa.



Fotografía N° 3. Maquinaria de la Cooperativa Cotapata (Cotapata, 1996)

**FLUJOGRAMA DE BENEFICIO
COOPERATIVA COTAPATA**

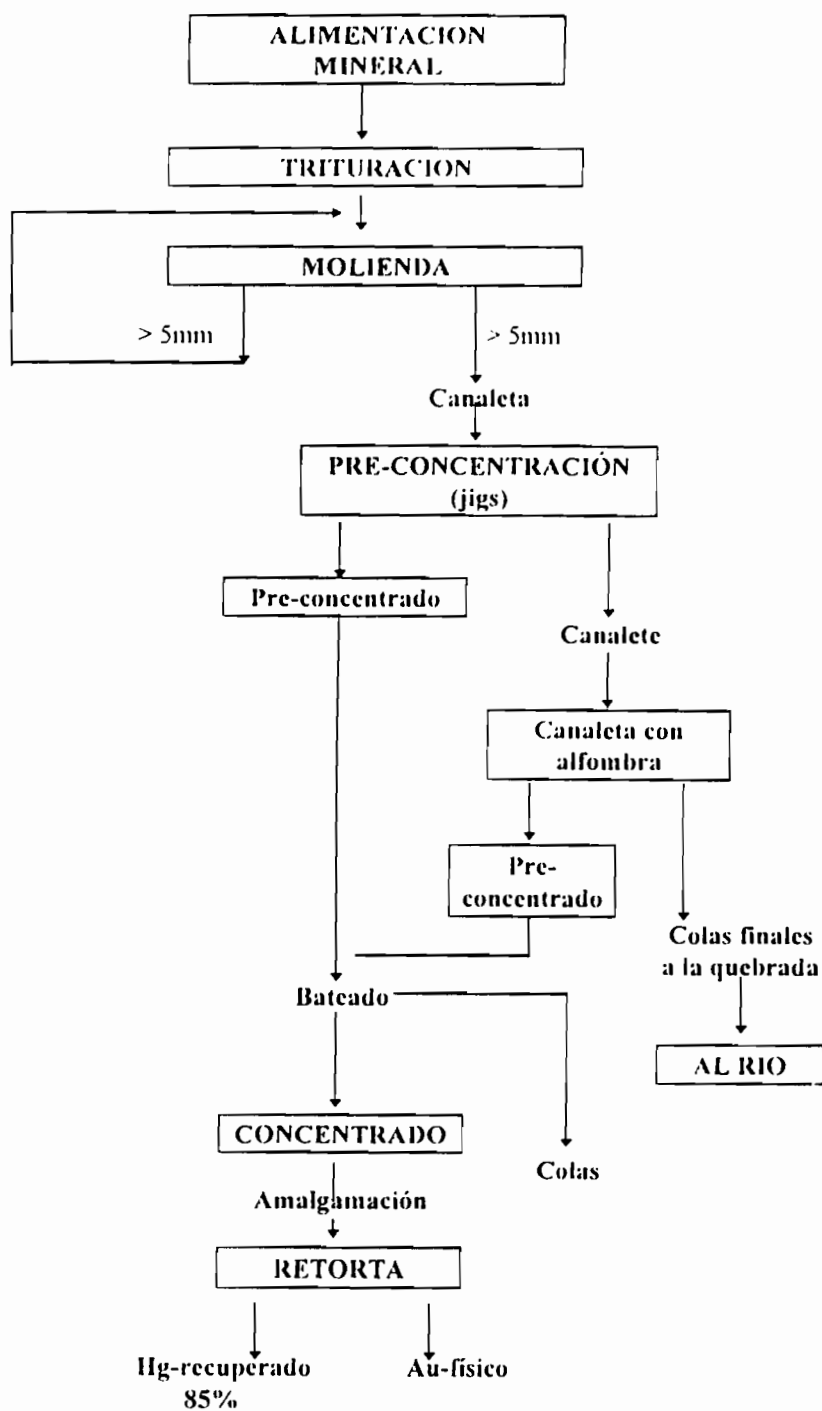


Figura N° 5. Quispe (1995)

Considerando que se utilizan 4500 g de mercurio entre las tres cooperativas cada 15 días, se pierden alrededor de 1450 g entre la atmósfera y las aguas del río Chairó. Anualmente se amalgama 24,3 veces el mineral extraído, como consecuencia se pierden aproximadamente 35 Kg Hg/año, solamente en el ecosistema de la cabecera de cuenca.

5. MATERIAL Y METODO DE COLECTA

5.1 Presentación de las campañas al terreno

De acuerdo a los objetivos propuestos en el perfil de tesis las campañas de terreno fueron realizadas en dos áreas específicas:

- **Sector población de El CHAIRO y**
- **Sector COTAPATA**

Muestras de aguas y sedimentos fueron colectadas al final de la época de aguas bajas, es decir en el estiaje, el 12 de octubre de 1995 en el sector del Chairo y el 13 de octubre en el sector de Cotapata.

5.1.1 Sector Población del Chairo

MUESTRA S₁: recogida en el río Huarinilla a 1 Km. de distancia del poblado del Chairo, en los alrededores de la escuela. Se recogió una muestra de agua conteniendo sólidos suspendidos, en una botella de teflón de 2 litros, especialmente preparada para la muestra. También se recogió una muestra de sedimentos, de la orilla derecha del río.
(Foto N° 4)

Las fotografías N°s 4,5,6 y 7 muestran las características de los puntos de muestreo S(1,2,3,y 4).



Fotografía N° 4. Rio Huarinilla (S₁)



Fotografía N° 5. Rio Chairo (S₃)



Fotografía N° 6. Lugar de muestreo de S₄
(Cotapata, 1995)



Fotografía N° 7. Lugar de muestreo de S₅
(Cotapata, 1995)

MUESTRA S₂: recogida a unos 20 m río arriba de la mina Esperanza, en la orilla izquierda del río Chairo. Se colectaron agua y sedimentos. El lugar se encuentra próximo a la confluencia de los ríos Chairo y Huarinilla.

MUESTRA S₃: aguas y sedimentos colectados en el río Chairo a 30 m de distancia, por debajo de la mina Esperanza, sobre la orilla izquierda.

5.1.2 Sector Cotapata (cabecera del río Chairo)

MUESTRA S₄: recogida en el río Chairo, 10 m arriba de la Cooperativa Cotapata, a los 2910 msnm, el agua provenía de las descargas de la Cooperativa Unión Ideal. Los sedimentos fueron muestreados en la orilla izquierda del río.

MUESTRA S₅: la muestra de agua fue recogida en una vertiente que alimenta al río Chairo y pasa por una terraza donde los mineros amalgaman el mineral. Estas aguas desembocan en el río Chairo. A su paso el agua lava las colas procesadas del mineral. Los sedimentos fueron recogidos en la misma plataforma, son producto de la molienda del mineral y del proceso de la amalgamación.

Las muestras de peces fueron recogidas en fecha 27 de octubre de 1995, en el cauce del río Huarinilla (población del Chairo).

Las características generales y descriptivas de los puntos de muestreo se presentan en la Tabla N° 2.

TABLA N° 2: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

PUNTO DE MUESTREO	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
Río	Huarinilla	Chairo	Chairo	Chairo Cotapata	Chairo Cotapata (vertiente)
Ribera	derecha	izquierda	izquierda	izquierda	derecha
Lugar	2 Km. abajo de la confluencia con el Chairo	20 m arriba de la mina Esperanza	30 m abajo mina Esperanza	10 m arriba mina Cotapata, abajo mina Unión Ideal	Plataforma, mina Cotapata, lugar de amalgamación
Vegetación ribera	arbórea, arbustiva	arbórea	arbórea	arbórea, arbustiva, musgos	arbórea, arbustiva, musgos abundantes
Substrato de orilla	roca dura	roca dura	roca dura	roca dura, rocas procesadas de todo tamaño	roca dura, rocas pequeñas procesadas
Ancho del lecho	10 m	8 m	8 m	7-8 m	7-8 m
Ancho curso del agua	7-8 m	5 m	5 m	0,6 m	0,2 cm
Caudal	2 m ³ /s	0,15 m ³ /s	0,15 m ³ /s	0,015 m ³ /s	0,015 m ³ /s
Pendiente	2%	3%	3%	40 %	1%
Veloc. del agua	70 cm/s	60 cm/s	10 cm/s	30 cm/s	20 cm/s
Transparencia	Hasta el fondo	poco transparente	poco transparente	ninguna	transparente
Color	Verde transparente	plomizo	plomizo	café claro, muy turbio	incolore
Olor	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro	inodoro
Altura de ubicación	1160 msnm	1340 msnm	1310 msnm	2910 msnm	2900 msnm
Perfil del valle	V	V	V	U	U
Sedimentos	finos y gruesos	limo + arcilla, degradación de mat. orgánica, presencia de grandes cantidades de ramas dentro del río.	igual que en S ₂	arena proveniente de la Coop. Unión Ideal, menores cantidades de limo y arcilla	arena silicea, de partículas finas

5.2 MATERIAL Y METODOS

5.2.1 Para aguas y sólidos suspendidos

Para el muestreo de las aguas se ha utilizado material de laboratorio preparado de acuerdo a protocolos denominados ultra limpios (Ahlers *et al*, 1990), debido al bajo contenido de mercurio en algunas aguas y para minimizar la contaminación de las muestras con mercurio adicional, atmosférico ó de otra naturaleza.

Protocolo de limpieza del material de muestreo.

El material de muestreo y de análisis utilizado para la determinación de concentraciones de mercurio, comprende exclusivamente materiales de Teflón, porque en otro tipo de materiales (vidrio ó polietileno), se corre el riesgo de perder mercurio por adsorción sobre las paredes internas de los recipientes, debido a la rugosidad microscópica del material.

Antes de usar, el material debe ser cuidadosamente lavado con detergente y agua caliente, luego enjuagar con abundante agua potable y luego agua destilada. Sumergir el material en HNO₃ p.a., al 50% (V/V) a 50°C durante 3 días, ú 8 días a 20°C, después enjuagar varias veces con agua destilada; volver a sumergir el material en HNO₃ al 10% 3 días a 50°C ú 8 días a 20°C y luego enjuagar varias veces con agua Milli Q, ó por lo menos con agua bidestilada. El material así preparado se guarda en bolsas de plástico especiales y nuevas, provistas de cierre hermético, hasta el momento del muestreo.

Este procedimiento se sigue con las botellas, sistema de filtración, cajas Petri, pinzas y todo lo que vaya a utilizar en la operación de muestreo y filtración de las aguas.

Este procedimiento se sigue con las botellas, sistema de filtración, cajas Petri, pinzas y todo lo que vaya a utilizar en la operación de muestreo y filtración de las aguas.

Protocolo de limpieza de los filtros

Para el análisis de mercurio en sólidos suspendidos, se utilizaron filtros Millipore esterilizados, de 47 mm de diámetro y de 0,45 μm de porosidad.

En un recipiente escrupulosamente limpiado, se dejan los filtros sumergidos, en HNO_3 p.a. al 5% (V/V), durante 3 días, luego se enjuaga varias veces con agua bidestilada hasta pH neutro ó alrededor de 7. Las cajas Petri y los filtros preparados de ese modo, se los acomoda dentro de un sistema de depuración de aire, clase 100, para secarlos, después se guarda un filtro en cada caja Petri, tomando con pinzas y con mucho cuidado, se etiqueta todas y cada una de las cajas, se envuelven cada 5 cajas en papel parafinado y se las guarda en bolsas nuevas con cierre hermético, todo el manipuleo se lo hace con guantes esterilizados (sin talco), y pinzas preparadas como se indicó más arriba.

Método de muestreo de aguas y sólidos suspendidos

En la población del Chairo, se tomaron muestras de agua en los ríos Huarinilla y Chairo, se tuvo el cuidado de tomar las muestras utilizando un par de guantes nuevos sin talco para cada muestra, la cantidad del agua del río permitió sumergir las botellas de modo que no atraparan aire en su interior, inmediatamente se taparon las botellas dentro del agua y guardó en bolsas con cierre hermético, hasta la filtración.

En Cotapata se tomaron muestras en la cabecera del río Chairo, por la poca cantidad de agua en el río no se pudo sumergir las botellas totalmente, de todos modos, se siguió el mismo método de toma de muestras y de conservación de las mismas.

Datos de temperatura, pH y conductividad de las aguas se tomaron *in situ*, en todos los puntos de muestreo (Tabla N° 3).

Filtrado de las muestras de agua

Entre 3 a 6 horas después del muestreo, se filtraron las aguas para analizar el mercurio sobre la fracción particular. Se utilizó el sistema de filtración, con un equipo de purificación de aire clase 100, mostrado por la fotografía N° 8.



Fotografía N° 8. Equipo de purificación de aire clase 100 utilizado para filtrar en atmósfera ultralimpia.

Primero se filtró agua destilada, de la misma calidad que se utilizó en el lavado de los filtros, un volumen de 500 cm^3 para blancos. Se prepararon 2 blancos de filtros para cada muestra de agua.

Se filtraron las muestras, en duplicado, cada filtro retuvo los sólidos suspendidos de cada muestra de agua de 1000 cm^3 , solo en el caso de la muestra S_5 se procesó el contenido de toda la botella por problemas que surgieron durante la filtración. Los filtros se colocaron cada uno dentro de una caja Petri, se etiquetaron, se envolvieron en papel parafinado, y guardaron en bolsas con cierre, para su análisis químico.

5.2.2 Para sedimentos

Los sedimentos fueron recogidos con las manos desprovistas de guantes, con el propósito de determinar al tacto la textura de las partículas, de percibir el olor y determinar el color de éstos. Después, los sedimentos fueron guardados en bolsas plásticas con cierre hermético y posteriormente secados a temperatura ambiente, guardados nuevamente en bolsas hasta su análisis químico.

5.2.3 Para peces

Los peces fueron colectados en el río Huarinilla, en alrededores del lugar donde se colectaron las muestras de aguas y sedimentos (S_1). Los peces fueron pescados con una red, se los guardó en bolsas plásticas con cierre hermético, previamente limpiadas con EDTA. Para preservar las muestras se puso en hielo hasta su análisis químico.

En el **sector de Cotapata**, no existen peces por la poca cantidad de agua en la cabecera del río Chairo.

Análisis químico

El análisis químico de mercurio en las muestras de sólidos suspendidos, sedimentos y peces se hizo en los Laboratorios de Radioisótopos Eduardo Penna Franca de la Universidad Federal de Río de Janeiro, Brasil, bajo la responsabilidad científica del Dr. Olaf Malm, Director del Instituto de Biofísica.

El equipo utilizado, fue un espectrofotómetro de absorción atómica Modelo AA 1475, marca Varian, provisto de generador de vapor frío marca Varian, modelo VGA-76.

Material y método de análisis de mercurio en sólidos suspendidos.

Los análisis de mercurio en sólidos suspendidos se hicieron en duplicado.

Los filtros conteniendo los sólidos suspendidos, son introducidos, cada uno en un vaso de precipitación y procesados al mismo tiempo que los blancos, un filtro virgen y una muestra de referencia certificada por los laboratorios.

A cada vaso se vierten 5 ml de agua desionizada, 5 ml de agua regia (3:1 HCl /HNO₃), la mezcla es digerida durante 5 minutos a 60° C, los vasos cubiertos con una película de PVC, son enfriados, después de agregar 20 ml de agua desionizada, 15 ml de KMnO₄ al 5%, se vuelve a digerir durante 30 minutos a 60° C, se enfrían y neutralizan con

hidroxilamina al 12%, gota a gota hasta cambio de color, se filtra por filtro cuantitativo, Whatman N° 42, se afora a 50 ml y se determina el mercurio por espectrofotometría de absorción atómica y vapor frío.

Material y método de análisis de mercurio para sedimentos.

El análisis de mercurio en sedimentos se hizo por absorción atómica, en triplicado, la masa de las muestras estaban alrededor de 2 g, se tomó como referencia una muestra certificada por el laboratorio, para determinar la precisión de los resultados.

El tratamiento de las muestras para su análisis, fue explicado en el párrafo anterior, con la diferencia del volumen final de 100 cm³. La foto muestra una etapa de esta operación.



Fotografía N° 9. Análisis de mercurio en sedimentos (Laboratorio UFRJ-Brasil, 1995)

Material y método de análisis de mercurio en peces

El análisis de mercurio en peces se hizo por AA y vapor frío, en triplicado. Se analizaron las 2 tipos de muestras y los blancos al mismo tiempo. De la familia Characidae, se tomaron 3 alícuotas de una mezcla de varios ejemplares, de la familia Trichomycteridae se tomaron tres alícuotas de cada uno de los tres ejemplares.

Primero, se quita la piel de los pescados, se analizan solo los músculos (el mercurio se bioacumula en los tejidos musculares solamente), se procede a pesar masas congeladas de alrededor de 1 g, se introducen las masas en tubos de ensayo, se añade 1 ml de H_2O_2 a cada uno de los tubos, 2 ml de H_2SO_4 1:1, 5-6 ml de H_2SO_4 concentrado, hasta disgregación de la muestra. El conjunto se introduce en bañomaría durante una hora a $60^\circ C$ y se observa de rato en rato, luego se agregan 15 ml de $KMnO_4$ al 5%, se deja en bañomaría 1 hora más, después se enfría, se agrega 10 ml de $K_2S_2O_8$ al 5%, se deja digerir durante la noche. El sobrenadante transparente del tubo se pasa a un matraz aforado de 50 ml, el decantado de color café oscuro, se trata con hidroxilamina hasta decolorar y se transfiere todo al matraz aforado, se completa el volumen con agua desionizada y se analiza por absorción atómica y vapor frío.

Las fotografías muestran dos diferentes etapas del análisis de mercurio en peces.



Fotografía N° 10. Análisis químico de mercurio en peces. (Laboratorio de la UFRJ-
Brasil, 1995)

6. RESULTADOS

6.1 Resultados obtenidos en las aguas y interpretación

6.1.1 Parámetros fisicoquímicos

Los resultados de parámetros fisicoquímicos están presentados en la Tabla N° 3.

TABLA N° 3. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS PARA MUESTRAS DE AGUAS

Muestra	Río	Fecha	Hora	pH	Conductividad ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
S ₁	R. Huarinilla	12-10-95	9:30	7.3	22.0	17,1
S ₂	R. Chairo	12-10-95	10:50	7.0	21.9	17.6
S ₃	R. Chairo	12-10-95	11:25	6.9	22,5	17,9
S ₄	R. Chairo Cotapata	13-10-95	14:00	4,0	21,9	13,1
S ₅	Vertiente Cotapata	13-10-95	14:30	6,0	22,0	14,2

El perfil fisicoquímico de los 3 primeros puntos de muestreo es similar: El pH es neutro (de $7 \pm 0,2$), la conductividad es baja y representativa de agua poco mineralizada ($22,1 \pm 0,4 \mu\text{s}/\text{cm}$). Por el contrario, aguas muestreadas en la mina Cotapata son ácidas especialmente en el punto S4 . Ese punto recibe los efluentes de la mina Unión Ideal y es localizado en un área rica en piritas, ésto explica el valor de pH 4. En cambio, las actividades mineras no afectan a la conductividad de las aguas superficiales ($22 \mu\text{s}/\text{cm}$).

6.1.2 Resultados de mercurio en sólidos suspendidos

Los valores brutos obtenidos en el Laboratorio de Radioisotopos, Río de Janciro, son presentados en el anexo B.

Los resultados de los análisis de mercurio en sólidos suspendidos se encuentran en la tabla N° 4.

TABLA N° 4. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MERCURIO EN SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Muestra	Ubicación	Río	Sólidos suspendidos (mg/l)	Mercurio ($\mu\text{g/g}$)
S ₁	2 Km. abajo de la confluencia con el Chairo	Huarinilla	2,4	16,9 \pm 7% (Precisión del método)
S ₂	20 m arriba de la mina Esperanza	Chairo	7,1	< 0,16 límite de detección
S ₃	30 m abajo de la mina Esperanza	Chairo	7,6	2,2 \pm 0,2 (8%)
S ₄	10 m arriba de la mina Cotapata	Chairo (Cotapata)	14 031,0	3,9 \pm 2,0 (13%)
S ₅	Plataforma de la mina Cotapata	Chairo Cotapata	702,4	15,1 \pm 7% (precisión del método) *
	Valor recomendado OMS/OPS			1

*El valor corresponde al análisis químico de la muestra sin duplicado.

6.1.3 Interpretación

El contenido de mercurio en sólidos suspendidos es representativo de la contaminación instantánea debido a las actividades mineras en curso, en la zona de estudio, mientras que los valores obtenidos en los sedimentos representan una integración en el tiempo de las actividades mineras, evolución en la historia de la explotación y beneficio del oro.

Los resultados obtenidos en los puntos río arriba de la zona de estudio S₄ y S₅, presentan valores de 4 µg/g arriba de la mina hasta 15 µg/g a la salida de la plataforma de amalgamación. Esos valores sobrepasan ampliamente, hasta 15 veces los límites recomendados por la OMS.

No se puede toma en cuenta los valores obtenidos en el punto S₂ por inadecuación del método a bajas concentraciones de mercurio en sólidos suspendidos. Considerando los tres puntos de muestreo en la cabecera del río Chairo, se puede observar una disminución de la contaminación del agua en el río Chairo a su confluencia con el Huarinilla. Esto se explica debido a una dilución progresiva por los afluentes no contaminados y por la deposición progresiva de los sólidos suspendidos en el curso del río.

La legislación boliviana ha emitido un solo reglamento a través de la Subsecretaría de Medio Ambiente, con referencia a la contaminación hídrica. En el informe correspondiente se indica que el límite permisible para el mercurio, en cuerpos de agua es de 1 µg/l. La OMS y la OPS/OMS dan 0.2 µg/l como valor permisible para aguas de río, y para agua potable 1 µg/l. El valor recomendado para Bolivia es 0.2 µg/l.

Considerando que el mercurio total disuelto contenido en las aguas del río Chairo es despreciable frente al mercurio total en sólidos suspendidos, se puede calcular que las concentraciones de mercurio de las aguas de los puntos S₁, S₃, S₄ y S₅ son respectivamente de 0,014 µg/l, 56 µg/l y 8,5 µg/l, ^{la cabecera} es decir que únicamente para la cabecera del río Chairo, los valores sobrepasan los límites permisibles.

6.2 Resultados obtenidos en los sedimentos é interpretación

6.2.1 Resultados de los análisis de mercurio en sedimentos

Los resultados se presentan en la tabla N° 5.

TABLA N° 5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE MERCURIO EN SEDIMENTOS

Muestra	Ubicación	Río	Mercurio ($\mu\text{g/g}$) peso seco
S ₁	2 km abajo de la confluencia con el río Chairo	Huarinilla	284,7 \pm 8,9
S ₂	20 m arriba de mina Esperanza	Chairo (población)	407,0 \pm 7,9
S ₃	30 m abajo de mina Esperanza	Chairo (población)	578,1 \pm 18,4
S ₄	10 m arriba de mina Cotapata	Chairo (Cotapata)	11490,0 \pm 131,4
S ₅	Plataforma de mina Cotapata	Chairo (Cotapata)	2237,3 \pm 128,8

6.2.2 Interpretación

Las precisiones obtenidas en las concentraciones de mercurio en los sedimentos, son buenas y más finas que las obtenidas en los sólidos suspendidos. El método analítico parece entonces más adecuado para ese compartimiento del ecosistema.

De acuerdo a la Tabla N° 5, podemos observar que la región de Cotapata, cabecera del río, estudiada a través de los puntos de muestreo S₄ y S₅, cuyos valores de mercurio total, son respectivamente 11,5 y 2,2 mg Hg/g peso seco, constituye la zona de mayor

influencia minera. Es en esta región que se efectúan las actividades mineras de forma intensiva, donde por lo menos dos de las cooperativas desechan los productos de la amalgamación al medio acuático, a través del río. La pendiente del río es bastante pronunciada, de por lo menos 40%, lo que contribuye a transportar los sólidos suspendidos y sedimentos contaminados. Los sedimentos fueron recogidos al final de la época seca, la poca cantidad de agua limita el transporte de sedimentos de la cabecera de la subcuenca andina estudiada. El régimen hidrológico puede explicar el decrecimiento de los valores de mercurio obtenidos en los sedimentos en la parte baja del río Chairo, en ambas partes de la confluencia con el río Huarinilla.

La concentración de mercurio obtenida en el punto S_2 ($407 \mu\text{g/g}$) representa la cantidad de mercurio acumulada en los sedimentos debido a las actividades mineras localizadas en la cabecera de la cuenca. La diferencia de los valores obtenidos en S_3 y S_2 , es decir ($171 \mu\text{g/g}$), es representativa de la contaminación debido a las actividades de recuperación de oro por algunos habitantes de la población del Chairo.

La pendiente menor en la confluencia de los ríos Chairo y Huarinilla, favorece en aguas bajas la deposición de los sedimentos contaminados que vienen de la cabecera. Los valores menores obtenidos en esta zona sobrepasan 55 veces el valor recomendado por la OMS. En comparación con el valor obtenido en Araras, sobre el río Madera, una zona minera caracterizada por un caudal muy importante y una dilución significativa, el valor en S_1 es dos veces más importante que el obtenido en los sedimentos contaminados del río Madera. Por otro lado, a medida que el caudal de las aguas aumenta por los afluentes de

la serranía, en el río Huarinilla, donde la pendiente es mucho menor, 2%, se depositan los sedimentos en las riberas de estos ríos a través del tiempo.

La explotación de oro en la población del Chairó contribuye sobre el contenido de mercurio en los datos obtenidos. Estos depósitos son el resultado de más de 10 años de acumulación. No existen estudios anteriores al presente con los que se pueda comparar los datos obtenidos en este trabajo.

Comparando nuestros resultados con los obtenidos por Malm (1990) para Mutum Paraná (amazonía brasilera), zona considerada altamente contaminada, cuyos valores en sedimentos de fondo son menores a 157 $\mu\text{g/g}$, los valores obtenidos en nuestro estudio están muy por encima de los reportados por Malm.

6.3 Resultados obtenidos en los peces é interpretación

6.3.1 Resultados de mercurio

Los resultados para las dos especies colectadas de peces se encuentran en la tabla N° 6. Las muestras de peces fueron colectadas en el río Huarinilla, abajo de las minas, en el lugar de colecta de las muestras S₁.

Tabla N° 6. RESULTADOS DE LOS ANALISIS DE MERCURIO EN PECES

Lugar	Fecha	Especies colectadas	Mercurio ($\mu\text{g/g}$)
R. Huarinilla (S ₁)	27-11-95	Characidae \times	121,8 \pm 12,0 (\pm 9,8%)
R. Huarinilla (S ₁)	27-11-95	Trichomycteridae	109,4 \pm 3,8 (\pm 3,5)
R. Huarinilla (S ₁)	27-11-95	Trichomycteridae	167,1 \pm 3,0 (\pm 1,8)
R. Huarinilla (S ₁)	27-11-95	Trichomycteridae	168,7 \pm 5,7 (\pm 3,4%)
Valor recomendado OMS			0,2 $\mu\text{g/g}$
Araras- R. Madera LIDEMA (1992)		Characidae	213,2 \pm 135,6 (\pm 63,6%)
R. Madera (Malm, 1990)		Dourada	2,1 $\mu\text{g/g}$

6.3.2 Interpretación

Las especies colectadas son de tamaño pequeño, la especie de la familia *Characidae* mide en promedio 7 cm y la especie de la familia *Trichomycteridae*, 12 cm.

En la zona existen peces de tamaños mayores, como la trucha que mide alrededor de 30 cm, estos peces de mayor tamaño deben acumular mayores cantidades de mercurio. En general, los peces carecen de un sistema de eliminación de contaminantes metálicos contenidos en las aguas.

Los resultados de la tabla N° 6 muestran valores muy altos comparados con el valor obtenido para el río Madera de la Amazonía brasilera, 2,1 $\mu\text{g/g}$ (Malm, 1990). Por el contrario es 2 veces más bajo que la mediana obtenida en el río Madera-Araras (Bolivia).

contrario es 2 veces más bajo que la mediana obtenida en el río Madera-Araras (Bolivia). El valor permitido por la OMS/OPS, es de 0,2 $\mu\text{g/g}$, mientras que el valor permitido por la legislación brasilera para peces de la Amazonía es de 0,5 $\mu\text{g/g}$. Los valores mostrados sobrepasan en 300 veces ése último valor recomendado.

La legislación boliviana adolece de una reglamentación para peces.

Comparando los resultados de los sólidos suspendidos y de los sedimentos, con los resultados obtenidos para los peces, se observa que existe en toda la región de estudio una fuerte contaminación mercurial que pasa a través de la cadena trófica (agua, plancton, peces) y a *fortiori* hasta el hombre

La tabla N° 7 resume los valores obtenidos en los 3 tipos de muestras colectadas en los ríos Chairó y Huarinilla en octubre de 1995.

TABLA N° 7. VALORES DE CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS, SEDIMENTOS Y PECES ($\mu\text{g/g}$).

Muestra ($\mu\text{g/g}$)	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
Sólidos suspendidos	16,9 \pm 7,5%		2,2 \pm 8%	3,98 \pm 13%	15,1 \pm 10%
Sedimentos	284,7 \pm 3,1%	407,0 \pm 2,0%	578,1 \pm 18,4%	11490,7 \pm 1,1%	2237,3 \pm 5,8%
Peces	0,141,7 \pm 31%				

Comparando todos los resultados obtenidos, se observa que los elementos de la biota están contaminados, por lo que **no se recomiendan los peces de la región para consumo.**

Se deduce que la contaminación de las aguas a través de los sólidos suspendidos, sedimentos y peces, es muy importante y sobrepasa hasta 400 veces los valores recomendados por la OMS.

Esta contaminación ambiental se explica por varios factores:

1. El método de amalgamación utilizado en la recuperación y beneficio del oro.
2. La historia de la actividad minera, desarrollada por más de 10 años.
3. La localización de las minas en cabecera de una pequeña cuenca andina, influenciada por un caudal débil, río angosto, poca dilución en época de aguas bajas, poco aporte de otros ríos ó vertientes.
4. Muestreo en época de aguas bajas lo que hace evidente con mayor fuerza la contaminación ambiental.

7: CONCLUSIONES

De acuerdo al diagnóstico realizado en el Parque Nacional y Area Natural de Manejo Integrado: Cotapata, se llega a las siguientes conclusiones:

De los resultados obtenidos a través del análisis químico de las muestras de sólidos suspendidos, sedimentos y peces, se observa que la contaminación mercurial es alta en los cauces de los ríos Chairó y Huarinilla, por lo tanto los peces de la zona no son aptos para consumo (Maurice et Quiroga, 1996)

Los habitantes de las poblaciones del Chairó, Pacollo y los de las zonas ribereñas al río Huarinilla tienen como fuente de proteínas a los peces, al consumirlos podrían ser afectados por la contaminación mercurial.

Se evidenció que las concentraciones de mercurio en sólidos suspendidos, sedimentos y peces sobrepasan ampliamente los límites permisibles fijados por la OMS, por lo que parte del ecosistema del Parque se encuentra seriamente afectado por la actividad minera.

La pendiente menor en la confluencia de los ríos Chairó y Huarinilla, favorece en aguas bajas la deposición de los sedimentos contaminados que vienen de la cabecera. Los valores menores obtenidos en esta zona sobrepasan 55 veces el valor recomendado por la OMS. En comparación con el valor obtenido en Araras, sobre el río Madera, una zona minera caracterizada por un caudal muy importante y una dilución significativa, el valor

minera caracterizada por un caudal muy importante y una dilución significativa, el valor en S_1 es dos veces más importante que el obtenido en los sedimentos contaminados del río Madera.

Por otro lado, a medida que el caudal de las aguas aumenta por los afluentes de la serranía, en el río Huarinilla, donde la pendiente es mucho menor, 2%, se depositan los sedimentos en las riberas de estos ríos a través del tiempo.

El río Chairó ha sido receptor de sedimentos contaminados con mercurio por más de 10 años y lo es actualmente. La creciente actividad minera desarrollada en el sector de Cotapata, hace que su influencia se extienda hasta el río Huarinilla y aún hacia las partes más bajas de la cuenca.

8. RECOMENDACIONES

Este trabajo de tesis ha puesto en evidencia tres tipos de problemática ambiental debido a la explotación de oro en esta zona.

- * Sobre el medio ambiente en general
- * Sobre las condiciones de vida y de trabajo de los mineros y
- * Sobre la salud humana.

Estas recomendaciones se dirigen sobre todo a la **Dirección Nacional de Conservación de la Biodiversidad**, organización gubernamental encargada de las Areas Protegidas.

A. PARA LA PRESERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE.

1. Empezar por un monitoreo ambiental en el Parque Nacional y Area Natural de Manejo Integrado: **Cotapata** cada cierto tiempo, respecto de las emisiones y efluentes mercuriales provenientes de las actividades mineras. Hacer análisis en diferentes compartimientos del ecosistema del Parque (aire, agua, sedimentos, peces).

2. Desarrollar nuevas tecnologías para minimizar los impactos ambientales de la minería del oro. Investigar métodos de mitigación efectivos para evitar pérdidas de mercurio al medio ambiente.

2. Desarrollar nuevas tecnologías para minimizar los impactos ambientales de la minería del oro. Investigar métodos de mitigación efectivos para evitar pérdidas de mercurio al medio ambiente.
3. Implantar normas con límites permisibles para mercurio y sustancias tóxicas, en aire, aguas y suelos y verificar que los efluentes de las actividades mineras no sobrepasen esos valores.
4. Crear una red de laboratorios entre las universidades y organizaciones exteriores, para la intercalibración de métodos de análisis de mercurio y metales pesados y la optimización de técnicas, con el fin de obtener resultados confiables.
5. Controlar la calidad de aguas que serán utilizadas en el riego de los sembradíos de las poblaciones bajas.
6. Ubicar áreas específicas para botadero de basuras é incinerar las basuras.

B. PARA EL MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE VIDA DE LOS MINEROS.

7. Es urgente organizar una campaña de educación y concientización a través de Seminarios, Cursos, entre los mineros y población, con respecto a la incidencia del uso del mercurio sobre la salud. En forma general sobre la preservación del medio ambiente del Parque Nacional COTAPATA.

8. Brindar asesoramiento técnico en diferentes rubros, como por ejemplo, manejo adecuado de sustancias tóxicas y técnicas de recuperación de oro.

9. Construir pozos ciegos para desechos fecales.

C. PARA LA PRESERVACIÓN DE LA SALUD DE LOS MINEROS Y DE LOS HABITANTES VECINOS.

10. Hacer un control de contenidos de mercurio, en sangre, cabellos y orina de los cooperativistas mineros del sector de Cotapata, así como de los habitantes de las poblaciones ribereñas dentro del Parque.

11. Realizar un monitoreo bromatológico de los alimentos.

12. Hacer un monitoreo para conocer el grado de exposición a sustancias químicas tóxicas ingeridas por inhalación, a través de la dieta alimentaria, el consumo de agua y/o por absorción a través de la piel.

13. Instalar una posta sanitaria para casos de accidentes urgencias médicas en el sector de Cotapata.

14. Se recomienda brindar asistencia médica en las poblaciones del Chairó y Pacollo.

Esas recomendaciones no son por supuesto “ exhaustivas “, pero tienen la ventaja de ser propuestas a partir de un trabajo de investigación *in situ*.

9. EVALUACION PRELIMINAR DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES AURIFERAS EN LOS RIOS DEL PARQUE NACIONAL COTAPATA

De todas las actividades desarrolladas por el hombre, la minería es una de las más contaminantes. Tomando en cuenta sus efectos se han planteado acciones para contrarrestar los efectos que las actividades mineras ocasionan sobre la salud del hombre, sobre la tierra, la vegetación, sobre las aguas superficiales y subterráneas, sobre la fauna y en general en todo el ecosistema donde se practican estas actividades.

9.1 Generalidades sobre la Evaluación de Impacto Ambiental

La evaluación de Impacto Ambiental es un procedimiento que se utiliza para predecir las consecuencias ambientales de proyectos de desarrollo propuestos, a través de este instrumento ambiental, se puede identificar y planificar las medidas apropiadas. A través de la EIA se pueden mejorar los proyectos si se incorporan medidas para el control de problemas ambientales.

9.2 Antecedentes del proceso de explotación aurífera

El impacto ambiental minero por la explotación del oro en el **Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado: Cotapata**, está localizado en la región de Cotapata, el Capítulo IV del presente trabajo explica en detalle la ubicación de las plantas de tratamiento del mineral aurífero, el mineral consiste de yacimientos de veta aurífero-

piritosos, el oro es recuperado mediante procesos de gravimetría y/o amalgamación con mercurio.

Descripción del proceso

Básicamente el tratamiento de estos minerales consta de varias etapas:

Trituración, molienda, preconcentración y concentración aurífera, tal como se muestra en las figuras 4 y 5 (Flujogramas del proceso).

9.3 La problemática de la minería en el Parque Nacional Cotapata

El presente estudio considera el caso del Parque Nacional Cotapata y el de las cooperativas auríferas en actual explotación. Al realizar una primera etapa del monitoreo en los ríos Charo y Huarinilla, que reciben las descargas de las colas del proceso de recuperación del oro, se ha evidenciado que estos ríos se ven afectados por el alto contenido de sólidos en sus aguas, las cuales llevan significativas cantidades de mercurio.

Por esta razón, se realizaron observaciones tanto en la fuente como en el medio ambiente afectado. Las matrices de identificación apoyan nuestras aseveraciones. Estos resultados muestran la necesidad de advertir a los involucrados y responsables del desarrollo de las operaciones minero-metalúrgicas acerca del grado de contaminación al que están alcanzando.

9.3.1 Monitoreo en la fuente contaminante

El monitoreo en la fuente contaminante ó monitoreo de proceso fué observado durante el desarrollo del proceso de tratamiento y recuperación del oro en la cooperativa Cotapata.

Se observaron grandes deficiencias en el procesamiento de los minerales, ocasionado por pérdidas de mineral durante las descargas en los equipos como ser trituración, molienda y canaletas, grasas y lubricantes en contacto directo con el operador de planta, ruido estridente y gases tóxicos provenientes de la combustión de combustibles y la producción de energía eléctrica generada por el grupo electrógeno, falta de espacio físico mínimo sobre el que deben desenvolverse, deficiente manejo del mineral y del mercurio especialmente, mala distribución de los equipos y maquinaria, con altos índices de riesgo de accidentes, una directa contaminación de sus alimentos con los insumos de trabajo, constituyéndose en un foco de alto impacto ambiental, el cual debe ser sujeto a un programa de mitigación que en breve plazo garantice disminuir estos impactos.

9.3.2 Monitoreo en el medio ambiente

Al observar la zona de estudio se han evidenciado varios aspectos:

1. Impacto sobre la vegetación. Los mineros deforestan la zona para construir sus viviendas. Al talar los árboles, utilizan la madera para construir el maderamen de los socavones, para construir sus viviendas y como leña.
2. El suelo y el paisaje se ven afectados tanto por la quema de la vegetación como por las carpas de plástico azul que sirven de vivienda a los mineros. Otro aspecto esencial es que no existen lugares específicos para los desechos sólidos ni biológicos. Se ha podido observar heces fecales sobre las aguas, las mismas que son utilizadas por los barranquilleros quienes extraen el oro que se pierde en el proceso de amalgamación, la recuperación se hace a pocos metros de las cooperativas.

3. Al sentirse dueños de una parte del área, tienen planificado explotarla lo mas pronto posible.

9.3.3 Monitoreo sobre la salud de los mineros

4. Los mineros carecen de las más minimas condiciones de salubridad ni seguridad social, no tienen asistencia médica de ningún tipo y no existe posta sanitaria alguna cerca de la zona.

5. Las condiciones de habitabilidad son de extrema pobreza, considerando aún más las condiciones climáticas muy húmedas de la región.

6. Se ha observado que los mineros se ven expuestos a todo tipo de intoxicación por sustancias químicas, debido a un mal manejo de éstas durante el proceso de explotación y beneficio del oro.

7. Se ha evidenciado que las máquinas producen mucho ruido durante muchas horas del día, porque los trabajos se hacen en tres turnos y las máquinas funcionan por los menos durante seis horas. El ruido se magnifica durante la noche, porque la zona se encuentra encerrada entre dos serranías con pendientes de grandes inclinaciones.

8. Para penetrar en los socavones, se utilizan explosivos, los que provocan mucho polvo y probablemente elementos y gases de alta toxicidad que son respirados por los mineros.

9. Se ha evidenciado que los mineros saben que el área es un Parque Nacional, pero no lo toman en cuenta.

9.3.4 Algunas consideraciones sobre el uso de la tierra

En base a fotos aéreas de la región, se ha hecho un análisis preliminar del uso de la tierra y de cómo la minería estaría afectando a una pequeña cuenca subandina.

Como resultado de este análisis, se ha calculado aproximadamente la superficie de suelo afectadas inicialmente por las actividades mineras. Los cálculos dan un área total de 36 Ha afectadas. Estos cálculos son preliminares, porque los mineros nos han informado que utilizarán las 627 Ha de su propiedad.

9.4 Resultados de la Auditoría Ambiental

La matriz M1 (anexo C) de **Identificación de Impactos** muestra resultados en general negativos no solo para el medio ambiente del Parque Nacional, sino también para la salud de los mineros.

La matriz M2 (anexo C) de **Evaluación de Impactos** da un valor de -50 (impactos negativos) y un valor de +3 (impactos positivos).

CONCLUSION

De los resultados obtenidos se concluye:

Que las **actividades mineras son altamente negativas para el medio ambiente**, más aún teniendo en cuenta que se trata de un **Parque Nacional y Area protegida**, que fué creada para preservar valores genéticos importantes y tradiciones ancestrales de nuestra cultura andina.

RECOMENDACION

Complementando las recomendaciones iniciales, se hace necesario planificar (Estudiantes de la Maestría, 1995) é implementar políticas, reglamentos y acciones cuanto antes, para un manejo integrado y racional de los recursos naturales de esta región.

10. BIBLIOGRAFIA

Ahlers W.W., Malcolm R.R., Jonathan P., Hunter K. and K.A., 1990. Contamination-free Sample Collection and Handling Protocols for Trace Elements in Natural Fresh Waters, *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 41, 713-20.

Akagi H., Malm O., Branches F.J.P., Kinjo Y., Kashima Y., Guimaraes J.R.D., Oliveira R.B., Haraguchi K., Pfeiffer W.C., Takizawa Y. and Kato H., 1994. Human Exposure to Mercury de to Goldmining in the Tapajos River, Amazon, Brasil: Speciation of Mercury in Human Blood and Urine. *Water, Air and Soil Poll.* 80: 85-94.

Aks S.E., Erickson T.B., Branches F.J.O. and HryHorczuk D.O., 1995. Blood-mercury concentrations and renal biomarkers in Amazonian Villagers. *AMBIO* N° 24, vol 2.

Ahlfeld F., Schneider A., 1964. Los Yacimientos Minerales y de Hidrocarburos de Bolivia, *Boletin* N° 5, Min. Minas y Petróleo, 74-75.

Bakir F. et al. 1973. *Science* 181; 230.

Banco Mundial, 1994. Libro de Consulta para Evaluación Ambiental, Trabajo Técnico N° 154, Vol III.

Barbosa A.C., Boischio A.A., East G.A., Ferrari I., Gonçalves A., Silva P.R.M. and da Cruz T.M.E., 1995. Mercury contamination in the Brazilian Amazon. Environmental and Occupational aspects. *Water, Air and Soil Poll.* 80: 109-121.

Benes P. y Havlik B., 1979. Speciation of mercury in natural waters. In: *The biogeochemistry of mercury in the environment.* J.O. Nriagu (de.). Elsevier/ North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, p 175-202.

CEEDI, 1990. Estudio de Impacto Ambiental de la Carretera Cotapata-Santa Bárbara. Servicio Nacional de Caminos, Bolivia, Eds, 151 p.

Cotton S.A. y Wilkinson G., 1978. Química Inorgánica Avanzada. Ed. LIMUSA, p 643-653.

Ribera M.O. y Estudiantes de la Maestría en Ecología y Conservación, 1996. Los Caminos de Cotapata, Edición Ecología en Bolivia, Revista del Instituto de Ecología-UMSA.

Fagerström, Jernelöv A., 1971. *Water Research*, 5 121 p.

Ferreira R.C.H., and Appel L.E., 1990. Estudo detalhado de fontes e usos de mercurio. Relatório preliminar. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro.

Galvao L.A.C. and Corey G., 1987. Mercurio, Serie Vigilancia N° 7. Edit. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS/OMS, pp 33-34.

Gaudet C., Lingard S., Cureton P., Keenleyside K., Smith S. and Raju G.,1995. Canadian Environmental Quality Guidelines for Mercury. *Water, Air and Soil Poll.* 80: 1149-1159.

Gavis J. y Ferguson J.F., 1972. The cycling of mercury through the environment. *Water Res.* 6: 989-1008.

Harrison R., 1993. A Study of Mercury Pollution, Royal Geo. Soc., p 131, Informe preliminar.

Instituto Nacional de Estadística, 1992. Censo de población en Bolivia.

Jensen S. and Jernelöv A., 1972. Behaviour of Mercury in the Environment, Technical Reports Series N° 137, p 43.

Jernelöv A., 1994. Number of Gold Miners versus Official Estimate of Gold Production and Mercury Usage, *SCOPE*, 28-30.

Lars D.H., Silva E.C., Lázaro J.O., Silva S.A., Kuntze E.K. and Silva D.X., 1994. Mercury Levels in Alto Pantanal : A Screening Study. *AMBIO*, Vol 23, 8, 474-484.

LIDEMA, PL-480, CORDEPANDO, 1992. Estudio del Impacto Ambiental por la explotación del oro en la región de Nueva Esperanza, Araras del Departamento de Pando.

Lucas M.F., Caldeira M.F., Hall A.D., Duarte A.C. y Lima C., 1986. Distribution of mercury in the sediments and fishes of the lagoon of Aveiro, Portugal. *Wat. Sci. Tech.* 18, pp. 141-148.

Malm O., Pfeiffer W., Souza C., Reuther R., 1990. Mercury Pollution Due to Gold Mining in the Madeira Basin, Brasil. *AMBIO*, Vol. 19, Nº 1, 11-16.

Malm O., 1991. Contaminação Ambiental e Humana por Mercurio da Região Garimpeira de ouro do rio Madeira, Amazonia, UFRJ, Brasil.

Martinez G.J., Santos E.J., 1994. Incidencia del mercurio en la región de Zaruma y Portovelo, Ecuador, 97 p.

Mason R.P. , Fitzgerald W.F. y Morel F.M.M., 1994. The biogeochemical cycling of element mercury. Anthropogenic influences. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 58: 3191-31-98.

Maurice Bourgoïn L. y Quiroga V. S.I., "en preparación". Concentrations of mercury in the Bolivian Amazonian Basin. Congress of the International Assembly of Hydrological Sciences. Rabat, Marroco, 1997.

Montes de Oca I., 1989. Geografía y Recursos Naturales de Bolivia. Editorial Educacional del Ministerio de Educación y Cultura, pp. 183-205.

Nordberg G. y Strangert P., 1976. Effects and dose-relationships of toxic metals, Environmental Health Criteria I Mercury. OMS/OPS, p 132.

Organización Mundial de la salud, 1976. Environmental Health Criteria I Mercury, 148 p.

OPS/OMS, 1978. Criterios de salud Ambiental I -Mercurio p 21-23.

Palheta D., Taylor A., 1995. Mercury in environmental and biological samples from a gold mining area in the Amazon region of Brasil. The Science of the Total Environment, 168: 63-69.

Pfeiffer W.C., Lacerda I.D., 1988. Mercury inputs into the Amazon region, Brasil. Env. Tech. Letters, Vol. 9, pp 325-330.

Pfeiffer W.C., Lacerda L.D., Salomons W., Malm O., 1992. Environmental fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. Env. Rev., pp. 22-37.

Priester M., Hentschel T., 1991. Riesgos para el Medio Ambiente y la Salud producidos por la Minería en Países en Vía de Desarrollo. Seminario Pequeña Minería y Medio Ambiente, Chile, 16 p.

Quispe R., 1995. Inventariación y Diagnóstico de las Cooperativas Mineras Auríferas asentadas en Cotapata, Programa: Manejo Integrado del Medio Ambiente en la Pequeña Minería, 15 p.

Ribera A.M.O., 1995. Aspectos Ecológicos del Uso de la Tierra y Conservación del Parque Nacional y área Natural de Manejo Integrado: Cotapata, Ecología en Bolivia, Documentos, 50 p.

Rissanen K. and Miettinen J.K., 1972. Use of mercury and its compounds in Agriculture and its implications, Tech. Repots Series N° 137, pp 5-34..

Saito N., 1972. Use of mercury and its compounds in industry and medicine. Tech. Reports Series N° 37, pp 37-42..

Shahristani H. y Shihab K., 1974. Arch. Environ. Health, 28: 342. OMS/ OPS.

Skerfving S. et al, 1974. Environ Res. 7: 83. OPS/OMS.

Tonomura K., Kanzaki F., 1968. The reductive decomposition of organic mercurials by cell-free extract of a mercury-resistant pseudomonas. *Biochem., Biophys., acta* 184 (1969) 227.

Tumpling W. von, 1994. Monitoreo de mercurio en agua, sedimentos y aire en Zaruma y Portovelo, Ecuador. Proyecto: Minería sin Contaminación, 56 p.

Westöö G., 1969. Methyl mercury compounds in animal food, *Chem. Fallout*, Thomas Pub., Springfield, III, 75.

Winteringham F.P.W., 1972. Introduction of Mercury Contamination in Man and its Environmental. *Tech. Reports Series N° 137*, pp 1-4.

ANEXO A

**PARQUE NACIONAL Y AREA NATURAL DE MANEJO INTEGRADO:
COTAPATA.**

1. INTRODUCCION	2
2. HISTORIA DE LA REGIÓN Y DEL BOSQUE	2
3. ASPECTOS CULTURALES	3
4. ASPECTOS ECONÓMICOS	4
4.1 Explotación del oro	5
4.2 Agricultura y ganadería	6
5. TIERRA Y SU USO	6
6. DIVERSIDAD FLORÍSTICA Y FAUNÍSTICA	7
7. SERVICIOS	7

1. INTRODUCCION

El Parque Nacional y Area Natural de Manejo Integrado Cotapata, ha sido creado en el año 1993, con el objetivo de conservar un área de una valiosa riqueza genética -biología en flora, fauna y de preservar una cuenca hidrológica importante.

Otro objetivo que llevó a la creación del Parque fué el de minimizar el impacto directo é indirecto de la construcción de la carretera Cotapata - Santa Bárbara.

El Parque tiene una historia que se remonta a la época del Tiawanaco de la cual se conservan aún algunas costumbres y tradiciones.

2. Historia de la región y del bosque

La cordillera en su flanco oriental presenta una característica fisiográfica en cuanto a clima, suelos y paisaje, que recibe el denominativo de Yungas, término que según Muñoz Reyes, proviene de las tribus "Yuncas" del Imperio de los Incas que habitaban estas regiones (Montes de Oca, 1989).

De estas épocas provienen los Caminos Precolombinos, que causaron gran admiración entre los conquistadores españoles, estos caminos constituyeron un sistema de comunicación que entonces no tenían parangón en el Viejo Mundo.

Miguel Estete (1533) y Cieza de León, elogiaron las rutas.

Se mencionan algunas citas extractadas de relatos de viajes, obtenidos en el Museo Nacional de Arqueología (La Paz).

"Había en los tiempos de los Ingas un camino real hecho a manos y fuerzas de hombre..." (Cieza de León, 1540).

Alexander von Humboldt, a comienzos del Siglo XIX y cuando declinaba el dominio hispánico expresó: "Habiéndonos sorprendido encontrar a tales alturas, magníficos restos de un camino construido por los Inkas del Perú, es una calzada de grandes piedras talladas, que pueden compararse con las más hermosas vías romanas, en Italia, Francia y España.

La red vial incaica tuvo sus antecedentes en la **Cultura Mochica**, en la zona costera septentrional del Perú, posteriormente la **Chimú**.

También en el Altiplano Boliviano, la **Cultura Tiwanacu**, poseyó caminos, los de la Primera Epoca eran calzadas estrechas, empedradas con piedras naturales, no labradas ni cortadas. De la Tercera Epoca dataría la calzada que une el lado sur del terraplenado de Kalasasaya con la pirámide de Akapana. Con posterioridad, la organización estatal bien desarrollada de la Epoca V ó expansiva (724-1200 DC), requería de un sistema imprescindible de comunicación, como ejemplo está el camino empedrado de Ovejuyo, La Paz. Otro camino digno de mencionar es el Takesi, que va a Yungas por el abra del mismo nombre y que une el altiplano con Sud Yungas.

En 1963, Strube Erdman refirió: “Hay que tener presente que los Inkas construían caminos para peatones y llamas y no para caballos y mulas. Huyeron de rodcos y prolongaban sus caminos ascendiendo derecho cuestas empinadas, por escalinatas. Quien ha recorrido a pie los caminos de los Yungas, guardará en la retina esta obra colosal por toda la vida”

3. Aspectos Culturales

Muchos autores se han referido a la existencia de un camino precolombino, del Chucura ó del Choro. Este camino es impresionante por su belleza natural, tiene señalización adecuada para caminata de turismo, es ancho en algunos tramos, la mayoría. El camino está construido de piedra en bloques, semejantes a grandes adoquines.

Comienza en la Cumbre, a media hora en vehículo desde la ciudad de La Paz, los primeros kilómetros, a la altura de 4650 msnm, se observa un piso ecológico subnival con muy escasa vegetación y gran pendiente, el camino es sinuoso, se pueden observar construcciones de piedra, casas que con el tiempo han sido abandonadas, importantes monumentos de la época precolombina.

En tres horas se alcanza una altitud de unos 3900 msnm, donde se sitúa la Apacheta Chucura, el clima mejora notablemente, la población a esta altitud se denomina Achura, y se encuentra a la orilla del río Chucura.

Los pocos habitantes salen al paso de los turistas, los niños reciben lo que se les pueda ofrecer. El aspecto del lugar cambia a un paisaje de puna. A medida que se avanza, la vegetación va creciendo, se pueden ver las especies vegetales de transición, el paisaje se hace cada vez más impresionante y hermoso, se transita por serranías cuajadas de vegetación siempre verde, se cruzan ríos muy caudalosos, se disfruta de bellísimas cascadas de aguas muy claras, se puede ver como los comunarios trasladan su carga en llamas desde abajo hacia la cumbre.

En la región Challapampa-Choro, a 2200 msnm, existe un puente colgante sobre uno de los dos ríos. En el trayecto se pueden cruzar varios puentes, de los cuales alguno es colgante.

En la región de Bella Vista, se puede divisar el Tiquimani, colindando con la región de Zongo, el panorama desde allá es imponente.

En el sector de Sandillani, vive un Japonés que lleva registros en libros, de todas las personas que pasan por allá, el hombre vive en la zona desde hace 50 años, se ha constituido en parte del atractivo turístico. El camino denominado del Inca, ó del Choro, termina en la población de Pacollo, donde se encuentra el único hotel de la región.

4. Aspectos económicos

El área ha sido ocupada y utilizada desde épocas precolombinas. El camino precolombino actualmente conocido como del Chucura ó del Choro y que recorre 50 Km entre la Apacheta de la Cumbre y la población del Chairo atestigua esta situación. Dicha ocupación antigua debió concentrarse primero en las zonas altas, aún hoy se pueden ver construcciones remanentes de esa época y de la actividad humana de entonces, traducidos en los andenes de las laderas del valle de Chucura. Las comunidades campesinas aymaras ocuparon el área, siguiendo sus formas tradicionales de uso de la tierra. Uno de estas formas es el “Control de Pisos Ecológicos”, que hoy todavía lo realizan entre las alturas y los valles subtropicales, para ésto utilizan el camino del Choro que es una vía ancha, que atravieza varias comunidades en toda su longitud, el tránsito se lo hace a pie, porque no existe acceso para vehículos. Los pobladores transportan sus productos a lomo de llamas ó burros (Ribera, 1995).

Probablemente la actividad agrícola ha sido una fuente de ingresos de la época, especialmente en las zonas altas donde se cultivaban productos andinos tradicionales y otras especies agrícolas domesticadas. El pastoreo es predominante de las zonas altas, con especies ganaderas de ovinos, vacunos y camélidos, aunque en bajas proporciones (Ribera, 1995).

En las poblaciones bajas del Parque Cotapata, se practica la agricultura de subsistencia. Los pobladores de las mencionadas comunidades trasladan sus productos excedentes en camiones que salen de la zona dos veces por semana, hacia Yolosa, Coroico ó La Paz.

En la zona no existe ningún tipo de incentivo ni asesoramiento para mejorar su producción agrícola, como consecuencia los habitantes emigran hacia otros lugares. En la región existen especies vegetales

muy valiosas que, con un buen asesoramiento técnico y un manejo adecuado podrían ser un incentivo económico para los habitantes.

En el río Huarinilla existen especies de peces que son aprovechadas por la población local con lo que se proveen de la proteína adecuada, las especies más conocidas son la trucha que fue introducida recientemente, otras especies son *Trichomycteridae* (mauri), plateados ó *Characidae*.

4.1 Explotación del oro

En el sector de Cotapata, la minería es la actividad más rentable de la zona. La explotación de oro es aprovechada por gente que no pertenece a la región, pero tampoco deja ningún beneficio para la población local.

La explotación del oro se hace utilizando mercurio en su recuperación, durante el proceso de amalgamación, existen fugas de mercurio metálico y vapor de mercurio que son emitidas al medio ambiente.

Las cooperativas son semimecanizadas, como consecuencia se utilizan equipos que producen mucho ruido, los combustibles empleados emiten a la atmósfera residuos después de la combustión.

Se usan explosivos dentro la mina para extraer trozo de roca y mineral que después son molidos durante el proceso. Las colas del mineral amalgamado se almacenan sobre una plataforma a la intemperie, cerca del río ocasionando que las partículas sean lavadas por las aguas de las vertientes que pasan por ellas y por las frecuentes lluvias.

El río es turbio debido a las descargas de residuos del proceso a diferencia de las vertientes que son muy claras, estas vertientes proporcionan el agua para el proceso de extracción del oro y para la alimentación de la población minera.

Las actividades mineras están afectando negativamente al parque al contaminar el ecosistema. Estas actividades contaminan las aguas de los ríos Chairó y Huarinilla con efluentes mercuriales, que son muy perjudiciales para la salud de los pobladores mineros y habitantes de las partes bajas del parque, tal como se reportó en la primera parte de este trabajo de tesis.

4.2 Agricultura y ganadería

Tanto la agricultura muy incipiente como la ganadería que solamente existe en las partes altas del Parque Nacional Cotapata, es de subsistencia. El ganado es principalmente ovino y en menor cantidad camélido, ésta última especie sirve a los pobladores de animales de carga.

5. Tierra y su uso

En las zonas altas, desde los 4900 hasta los 4000 msnm, existen bofedales, es decir un tipo de vegetación intrazonal, estos se encuentran sobre suelos turbosos. Los bofedales soportan temperaturas de hasta 0°C, durante gran parte del año. Estos bofedales se encuentran en áreas reducidas en los valles de Chucura, existen en la zona especies de gramíneas, algas y pastos que son aprovechados por la ganadería de camélidos y ovinos, característicos de las zonas altas. Los pobladores de la zona cultivan papa, cebada, oca, avena, kañahua, productos que intercambian con otros de zonas más bajas. La producción es de autoconsumo.

En la región de Chucura bajo ó Choro, la población recurre a la pesca de especies existentes en los ríos, truchas, plateados, mauri y otras especies, de este modo los pobladores tienen en la pesca una fuente de proteínas, porque en la zona no existe ganado para el aprovisionamiento de carne.

En las poblaciones más bajas, Bella Vista, Sandillani, los campesinos de la zona producen cítricos, cebollas, tomates, locotos, racacha, nabos, y otros productos de climas más templados, una parte de la producción la destinan al autoconsumo y el excedente lo intercambian con la ciudad de La Paz, Yolosa y Coroico.

En el valle del Huarinilla, hasta las poblaciones del Chairó y Pacollo, la producción de cítricos, café, plátanos de diferentes variedades, cacao en menores proporciones, las comercian hacia Coroico ó La Paz. Potencialmente existen una enorme variedad de recursos genéticos que, con un manejo adecuado, podrían generar ingresos para los habitantes de la zona.

Con la perspectiva de la construcción de la carretera Cotapata - Santa Bárbara, los terrenos de la zona se han valorizado. Se presume que la carretera ocasionará asentamientos desordenados, por eso se hace necesario implementar un manejo planificado de los recursos naturales de la zona para no poner en peligro el propósito para el que ha sido creado el Parque.

6. Diversidad florística y faunística

Las condiciones climáticas son muy variables en distancias cortas, determinando cambios en el tipo de vegetación, en las zonas más elevadas, por encima de los 3400 msnm, y en zonas escarpadas y rocosas, se encuentra vegetación correspondiente a una puna muy húmeda, donde se observa la dominancia de gramíneas de los géneros *Stipa* y *Festuca*, con matorrales de *Satureja boliviana* y *Baccharis* spp (Beck, 1986-1988). La vegetación permanece inalterada en la mayor parte del área, con excepción de los lugares cercanos a la carretera, que presentan deforestación, además de pequeñas áreas dedicadas a la agricultura (Ergueta, 1993).

Salazar y Anderson (1990), en sus investigaciones sobre el hábitat del Oso andino en Bolivia, publicaron un artículo acerca del también denominado oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*), es uno de los mamíferos más grandes en Bolivia y habita en zonas de bosques de Ceja de Montaña. La destrucción de estos bosques debido a la minería, agricultura, actividad agropecuaria u otro tipo de actividad, contribuyen a la desaparición de una especie tan singular.

Esta zona está caracterizada por la presencia de árboles bajos de 10 a 12 m de altura, siempre verdes, en zonas muy rocosas aparecen arbustos de hojas muy pequeñas y de porte reducido.

Entre los 3400 y 2800 msnm, los bosques están cubiertos casi en su totalidad por musgos hepáticos y otras epífitas. Sobre rocas y terrenos removidos se destaca la presencia de un musgo pionero *Polytricum juniperinum* (CEEDI-PCA, 1990).

Los árboles de la zona presentan fustes gruesos y cortos, las más comunes son las *Ericaceae*, *Myrtaceae*, *Podocarpus* spp (Beck, 1986-1988). En el estrato herbáceo abundan varias especies de bambú, como la *Chusquea delicatula* de una extraordinaria capacidad de crecimiento.

7. Servicios

En el Chairo, no existe atención médica a pesar de haber un recinto para tal efecto, los habitantes tienen que recurrir a hospitales de Coroico ó de La Paz.

Las enfermedades más frecuentes son espundia, malaria, varicela, tuberculosis, IRAS, fiebre amarilla, EDAS (Hospital de Coroico, 1995).

Tampoco cuentan con servicio de alcantarillado, agua potable, luz eléctrica, teléfono, u otros servicios. Otros servicios de los cuales adolecen, son transporte fluido y continuo, solo existen dos camiones que transportan gente y carga, dos veces por semana, hacia la ciudad de La Paz.

En el sector de Cotapata, los mineros no disponen de ningún tipo de servicios, ni siquiera de un botiquín de primeros auxilios.

ANEXO B

INDICE DE MATRICES

- 1. M1 Matriz de Evaluación de Impactos**
- 2. M2 Matriz de Identificación de Impactos**

M1: MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS

ACTIVIDADES DEL PROYECTO		FACTORES AMBIENTALES																							
		AIRE					AGUA					SUELO				ECOLOGIA				RUIDO		SOCIOECONOMICO			
		ACTUACION	DESCRIBIR	MODIFICAR	CONTAMINAR	DEGRADAR	CONTAMINAR	DEGRADAR	CONTAMINAR	DEGRADAR	CONTAMINAR	DEGRADAR	CONTAMINAR	DEGRADAR	CONTAMINAR	DEGRADAR	CONTAMINAR	DEGRADAR	CONTAMINAR	DEGRADAR	CONTAMINAR	DEGRADAR			
Apertura socavones	Polvo	1																							
	Polvos inhalables	-2	-2																						
	Explosivos	-2	-2																						
	Tóxicos			-3																					
	Humano																								
Proceso de beneficio	Motores		-2																						
	Voladuras	-2	-2	-2																					
	Molienda	-2			-1	-2	-2	-2		-2	-1	-1	-2	-2		-1									
	Amalgama	-3		-3		-3																			
	Colas de proc. Trituración				-2	-2																			
Instalac. infraestr.	Transporte																								
	Combustibles			-2	-2	-2																			
	Motores		-2	-2																					
	Humanos																								
	Viviendas																								
Actividades humanas	Necesid. básica				-1	-2																			
	Desplazamiento																								
	Desechos sólidos																								
	Maquinaria																								
	Tránsito																								

NOTA: La presente matriz debe utilizarse, para las fases de exploración, ejecución, operación, mantenimiento, futura inducido y abandono.
 ESCALA DE PONDERACION: POSITIVOS +1 = BAJO +2 = MODERADO +3 = ALTO
 NEGATIVOS -1 = BAJO -2 = MODERADO -3 = ALTO

M2 : MATRIZ RESUMEN DE EVALUACION DE IMPACTOS

PROYECTO: Extracción de minerales de arcilla

FASE DEL PROYECTO: Ejecución

No	ATRIBUTOS	IMPACTOS NETOS		FACTORES AMBIENTALES
		POSITIVOS	NEGATIVOS	
1	FACTOR DE DISPERSION			AIRE
2	PARTICULAS SUSPENDIDAS		-2	
3	OXIDOS DE AZUFRE		-2	
4	OXIDOS DE NITROGENO		-1	
5	MONOXIDO DE CARBONO		-2	
6	OXIDANTES FOTOQUIMICOS		-1	
7	TOXICOS PELIGROSOS		-1	
8	OLOR		-2	
9	PRODUCCION DE ACUIFIEROS		-	AGUA
10	VARIACIONES DE CAUDAL		-2	
11	ACEITES Y GRASAS		-1	
12	SOLIDOS SUSPENDIDOS		-3	
13	TEMPERATURA			
14	ACIDEZ Y ALCALINIDAD		-1	
15	DOSIS			
16	OXIGENO DISUELTO			
17	SOLIDOS DISUELTOS			
18	NUTRIENTES			
19	COMPUESTOS TOXICOS		-2	
20	COLIFORMES FECALES		-2	
21	SALINIDAD Y ALCALINIDAD			SUELO
22	COMPACTACION			
23	NUTRIENTES			
24	EROSION		-1	
25	RIESGOS		-2	
26	USO DE SUELOS		-1	
27	FAUNA TERRESTRE		-1	ECOLOGIA
28	AVES		-2	
29	FAUNA ACUATICA		-2	
30	VEGETACION Y FLORA TERRESTRE		-1	
31	AREAS VERDES URBANAS			
32	VEGETACION Y FLORA ACUATICA			
33	COSECHA AGRICOLA			
34	VECTORES			
35	PAISAJISMO		-2	
36	EFECTOS FISIOLÓGICOS		-2	
37	COMUNICACION		-1	RUIDO
38	RENDIMIENTO LABORAL			
39	COMPORTAMIENTO SOCIAL		-1	
40	ESTILO DE VIDA		-2	
41	SISTEMAS FISIOLÓGICOS			
42	NECESIDADES COMUNALES		-2	
43	EMPLEO	+2		
44	INGRESOS SECTOR PUBLICO			
45	INGRESO PER CAPITA	+1		
46	PROPIEDAD PUBLICA			
47	PROPIEDAD PRIVADA			
TOTAL		+3		
TOTAL/141			-50	
		IMPACTOS NETOS POSITIVOS	IMPACTOS NETOS NEGATIVOS	

Nota. La presente matriz debe utilizarse, para las fases de exploración, ejecución, operación, mantenimiento, futuro inducido y abandono

ANEXO C

RESULTADOS BRUTOS DE LOS ANALISIS QUIMICOS DEL MERCURIO

Los resultados fueron emitidos por el Dr. Olaf Malm, Director de Instituto de Biofisica
Carlos Chagas Filho (Universidad Federal de Rio de Janeiro-Brasil)

1. Resultados de análisis químico de mercurio para sólidos suspendidos
2. Resultados de análisis químico de mercurio para sedimentos
3. Resultados de análisis químico de mercurio para peces



Resultados das análises de Hg Total em amostras de particulado em suspensão para a Profa. Sonia Irma Quiroga.

	<u>ng/ml</u>
Branco de reagentes:	0.74
	0.77
	0.66
	0.32
Branco de Filtros:	0.58
B1	0.83
B2	0.37
B3	2.02
B4	0.88
B5	2.08
Amostras	
I 1-1	9.34
I 1-2	2.02
I 2-1	0.51
I 2-2	0.46
I 3-1	1.53
I 3-2	1.58
I 5-1,2,3	20.48 X 10
I 4-1	24.91
I 4-2	32.07
I 4-3	5.93 X10

Volume Final = 50 ml

Responsável.
150
100,10 ug / filtro
Frank Junior
em 07/12/95



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DE BIOFÍSICA CARLOS CHAGAS FILHO

Profa. Irma Quiroga Fax: 00 591 2 797511
Instituto de Ecologia - Campus Universitário COTA-COTA

Cara Irma,

Resultados das análises de Hg Total em amostras de particulado em suspensão para a Profa. Sonia Irma Quiroga.

Leitura na
AA (ng/ml) Volume Final = 50 ml

Branco de reagentes. 0.74
0.77 Média= 0.6225
0.66
0.32

Branco de Filtros
B1 0.83
B2 0.37
B3 2.02 Média= 1.236
B4 0.88 STDS= 0.17
B5 2.08

Amostras	Massa(g)	Volume(ml)	Resultado final		L.D. teórico (ng/g)
			ng/ml	ng/g	
I 1-1	9.34 0.00232	970	0.42	174655.17	26637.93
I 1-2	2.02 0.00232	970	0.04	16896.55	26637.93
I 2-1	0.51 0.00692	970	-0.04	-5245.66	8930.64
I 2-2	0.46 0.00692	970	-0.04	-5606.94	8930.64
I 3-1	1.53 0.00717	950	0.02	2050.21	8619.25
I 3-2	1.58 0.00717	950	0.02	2398.88	8619.25
I 5-1,2,3	204.80 0.67217	957	10.84	15142.30	91.94
I 4-1	24.91 0.35079	25	47.34	3373.67	176.17
I 4-2	32.07 0.35079	25	61.67	4394.94	176.17
I 4-3	59.30 0.35079	25	116.13	8276.18	176.17

O L.D. que coloquei é simplesmente o valor médio dos brancos vezes o fator de diluição devido a digestão.

P.S. Acabei de receber um E-mail da sua orientadora, Dra Laurence e espero que este fax responda as principais dúvidas. Realmente utilizou-se o filtro inteiro p/ as análises.

Um Abraço Saudoso. Olat



Resultados de análises de Hg total em amostras de sedimento de fundo para a Prof. Sonia Irma Quiroga

CÓDIGO	ug/g(ppm)
BVSD4390	0.41
BVSD4391	0.28
BVSD4392	0.58
BVSD4393	11.49
BVSD4394	2.24

Responsável: 07/12/95

Juan R. Quiroga



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DE BIOFÍSICA CARLOS CHAGAS FILHO

Resultados de análises de Hg total em
amostras de peixe da Prof. Sonia Irma
Quiroga

Leopoldo

José R. Guimarães

In. 07/12/95

NOME DO ARQUIVO/USUARIO:		BUPX01/Fernando		COLETOR SONIA IRMA		ANALISTA/CÁDERNO Miriam/Catalogo do Laboratorio		MATERIAL/METAL: PEIXES/Hg							
						BRANCOS		VALOR pp	VALOR ppb	Media	SD				
								1	0 22	3	0 18				
Resultado								2	0 21	0.19666667		0.03			
Outro cod	CODIGO	Data de coleta	Nome pop.	Nome científico	TRIP.	V.FIN.	VF / MASSA	LEIT. (ppb)	DIL.	ppb LIQ	SD%X	Media (ppb)	D.P.		
	BVPX4375	27/10/95	plateado	Caracidae	A	1 0396	50	48 10	3 09	1	139 16				
					B	1 133	50	44 13	2 8	1	114 89	12 46	121 77	15 17	
					C	1 0711	50	46 68	2 58	1	111 26				
	BVPX4376	27/10/95	mauri	Trychomictoridae	A	0 9958	50	50 21	2 43	1	112 14				
					B	1 1503	50	43 47	2 76	1	111 42	3 84	109 36	4 202	
					C	1 0109	50	49 46	2 31	1	104 53				
	BVPX4377	27/10/95	mauri	Trychomictoridae	A	1 0322	50	48 44	3 77	1	173 09				
					B	1 0095	50	49 53	3 53	1	165 10	3 17	167 09	5 3	
					C	1 0466	50	47 77	3 61	1	163 07				
	BVPX4378	27/10/95	mauri	Trychomictoridae	A	1 015	50	49 26	3 71	1	173 07				
					B	1 0093	52	51 52	3 6	1	175 34	5 67	168 72	9 566	
					C	1 0248	50	48 79	3 43	1	157 75				

ANEXO D

INDICE DE FOTOGRAFIAS DEL

PARQUE NACIONAL COTAPATA

Camino del Inca, El Choro (El Choro, 1995).....	2
Población de El Chairo (El Chairo, 1995).....	3
Impacto de la minería en el medio ambiente (Cotapata, 1995).....	4
Cooperativa Cotapata (Cotapata, 1995).....	5
Vista parcial de la zona minera (Cotapata, 1996).....	6
Viviendas de los mineros de las cooperativas de Cotapata (Cotapata, 1996).....	7
Panorama de la otra cabecera del río Chairo (Cotapata, 1996).....	8
Impacto sobre la vegetación (Cotapata, 1995).....	9
Cabecera izquierda del río Chairo (Cotapata, 1996)	

CAMINO DEL INCA - EL CHORO (1996)

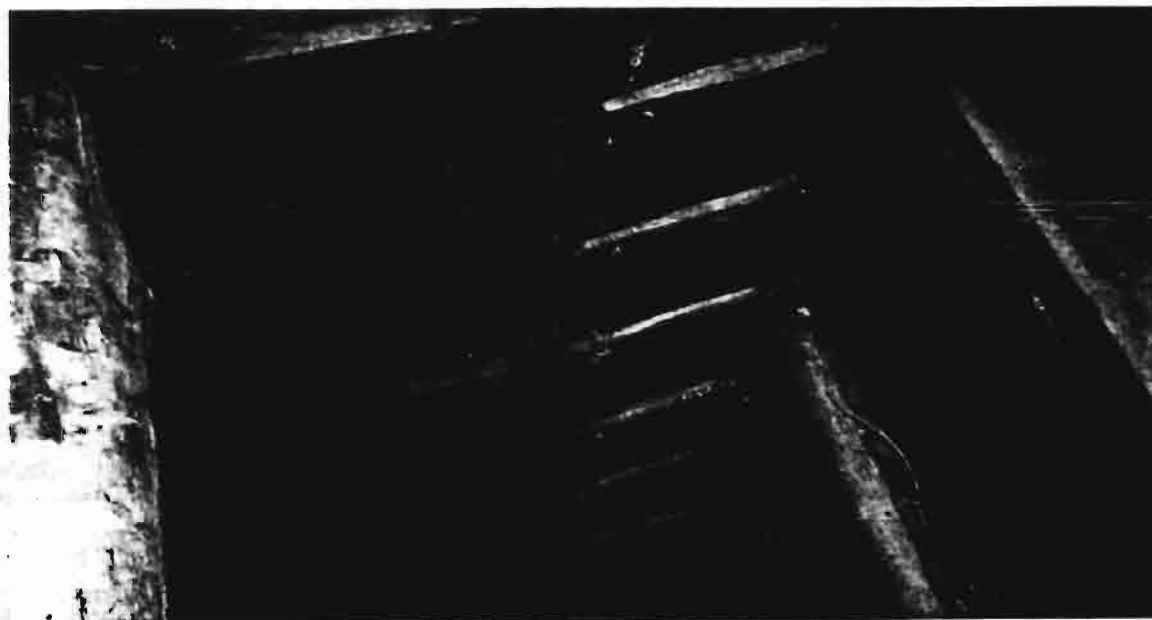


Fotografía N° 11. Zona de bosque nublado en el Parque Nacional Cotapata (1995)



Fotografía N° 12. Transporte de carga en llamas a través del Camino del Inca (1995)

POBLACION DE EL CHAIRO (1995)



Fotografía N° 13. Perforación vertical d. mina Esperanza
(El Chairó, 1995)



Fotografía N° 14. Camino Carretero Cotapata-Santa Bárbara
(El Chairó, 1995)

IMPACTO DE LA MINERIA EN EL MEDIO AMBIENTE DE COTAPATA
(1996)



Fotografía N° 15. Equipo minero abandonado (Cotapata,1996)



Fotografía N° 16. Deforestación y quema de la vegetación
(Cotapata, 1996)

COOPERATIVA COTAPATA (1995)



Fotografía N° 17. Depósito de las colas producto del proceso de amalgamación (Cotapata, 1996)



Fotografía N° 18. Condiciones de trabajo de los mineros (Cotapata, 1996)

VISTA PARCIAL DE LA ZONA MINERA
(1996)



Fotografía N° 19. Cooperativa unión Ideal en la ladera de pendiente muy inclinada
(Cotapata, 1996)

VIVIENDAS DE LOS MINEROS DE LAS COOPERATIVAS DE COTAPATA



Fotografía N° 20. Grupo de mineros de la Cooperativa Virgen de Copacabana
(Cotapata, 1996)



Fotografía N° 21. Viviendas de los mineros de la cooperativa Virgen de Copacabana
(Cotapata, 1996)

VISTA DE LA OTRA CABECERA DEL RIO CHAIRO
(Cotapata, 1996)



Fotografía N° 22. Tala de árboles para diversos usos (Cotapata, 1996)



Fotografía N° 23. Barranquillero. Recupera el oro amalgamado que se pierde en el proceso de beneficio (Cotapata, 1996)