

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE MEDICINA, ENFERMERÍA NUTRICIÓN
Y TECNOLOGÍA MÉDICA UNIDAD DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN SALUD PÚBLICA – MENCIÓN SALUD AMBIENTAL Y
OCUPACIONAL

**“EXPOSICIÓN HUMANA AL MERCURIO
CUENCA DEL RÍO ITÉNEZ, 2007”**

TUTORES: Ph. D Jacques Gardon

Ms. C Dra. Flavia Barbieri

AUTOR: Pamela N. Paco-Velasco

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE MAGÍSTER SCIENTIARUM EN SALUD
PÚBLICA, MENCIÓN SALUD AMBIENTAL Y OCUPACIONAL

LA PAZ – BOLIVIA

2009

Agradecimientos

Agradecer primeramente a las comunidades de Remanso, Mategua, Versailles, Nueva Brema y Piso Firme, por su colaboración e interés.

A los patrocinadores de este proyecto, World Wild Foundation (WWF), Parque Departamental del Área Natural de Manejo Integrado del departamento del Beni (PD ANMI – Itenez) y el Instituto para el Desarrollo de Francia (IRD), que contribuyeron para que este trabajo sea una realidad.

A mis tutores Jacques Gardon y Flavia Barbieri, por su continua enseñanza y paciencia.

Y a mi familia por su eterno e incondicional apoyo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

A. RESUMEN.....	5
B. INTRODUCCIÓN	7
C. MARCO TEÓRICO.....	8
C.1. HISTORIA	8
C.2. PROPIEDADES DEL MERCURIO	10
C.2.1. Compuestos inorgánicos de mercurio.....	11
C.2.2. Compuestos orgánicos del mercurio.....	11
C.3. EXPOSICIÓN OCUPACIONAL AL MERCURIO	12
C.4. EL MERCURIO EN EL AMBIENTE	13
C.4.1. Fuentes de mercurio.....	13
C.4.1.1 Fuentes naturales.....	13
C.4.1.2 Fuentes antropogénicas.....	14
C.4.2. Ciclo del mercurio.....	15
C.4.3. El mercurio en ecosistemas acuáticos.....	16
C.5. TOXICOLOGIA DEL MERCURIO.....	18
C.5.1. Toxicocinética.....	18
C.5.1.1 Absorción.....	18
C.5.1.2 Transporte, distribución.....	19
C.5.1.3 Excreción de mercurio.....	20
C.5.2. Fisiopatología.....	21
C.6. EFECTOS EN LA SALUD.....	22
C.6.1. Efectos neurotóxicos	22
C.6.2. Embriopatía por metilmercurio.....	23
C.6.3. Alteraciones neurológicas a muy bajas dosis in útero.....	23
C.6.4. Alteraciones cardiovasculares.....	25
C.6.5. Carcinogenicidad.....	25
C.7. BIOMARCADORES.....	26

C.7.1.	Niveles de mercurio en sangre.....	26
C.7.2.	Niveles de mercurio en orina.....	27
C.7.3.	Análisis del cabello.....	27
C.8.	LÍMITES PERMISIBLES DE MERCURIO.....	28
D.	ANTECEDENTES.....	29
E.	REVISION BIBLIOGRÁFICA.....	30
F.	JUSTIFICACIÓN.....	34
G.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	35
G.1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA.....	35
G.2.	HIPÓTESIS.....	35
G.3.	OBJETIVOS.....	35
G.3.1.	Objetivo general.....	35
G.3.2.	Objetivos específicos.....	36
G.4.	TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO.....	36
H.	POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	37
H.1.	LUGAR DE ESTUDIO.....	37
H.1.1.	Sub-cuenca Iténez.....	37
H.1.2.	Provincia Iténez.....	39
I.	METODOLOGÍA.....	41
I.1.	CENSO DE POBLACIÓN – MUESTRA.....	41
I.2.	CRITERIOS DE INCLUSIÓN/EXCLUSIÓN.....	41
I.3.	INSTRUMENTO (CUESTIONARIO).....	41
I.4.	MEDICIÓN (VARIABLES).....	42
J.	PROCEDIMIENTO.....	45
J.1.	IDENTIFICACIÓN DE LAS LOCALIDADES.....	45
J.2.	ENTREVISTAS.....	45
J.3.	MUESTRAS DE CABELLO.....	46
J.4.	ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	46
J.5.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	47
J.5.1.	Análisis estadístico.....	47
J.5.2.	Gestión de datos.....	48

K.	RESULTADOS.....	50
K.1.	DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS	50
K.2.	DATOS SOCIOECONÓMICOS.....	51
K.3.	HÁBITOS ALIMENTICIOS.....	51
K.4.	MERCURIO EN CABELLOS.....	53
K.5.	RELACIÓN DEL MERCURIO CON LAS VARIABLES DE LA POBLACIÓN 55	
L.	DISCUSIÓN.....	64
M.	CONCLUSIÓN.....	67
N.	ÉTICA.....	69
O.	BIBLIOGRAFÍA.....	70

Índice de Figuras

Figura 2 Modelo conceptual del ciclo de mercurio.....	17
Figura 4 Ríos de la zona de estudio.....	38
Figura 5 Toma de la muestra de cabello	46
Figura 6 Histograma y media general de la población de estudio.....	54
Figura 7 Relación del mercurio y género.....	55
Figura 8 Relación del mercurio y edad (<i>Scatterplot</i>)	56
Figura 9 Relación del mercurio y grupos de edad.....	56
Figura 10 Relación del mercurio y la ocupación.....	57
Figura 11 Relación del mercurio y los pueblos	58
Figura 12 Relación del mercurio y la frecuencia del consumo de pescado	59
Figura 13 Relación del mercurio y los ríos.....	62
Figura 14 Entrega de los resultados	66

Índice de Tablas

Tabla 1 Toxicocinética del mercurio.....	20
Tabla 2 Número de Habitantes	40
Tabla 3 Operacionalización de variables	43
Tabla 4 Media de edad por población	50
Tabla 5 Repartición de la población por ocupación.....	51
Tabla 6 Frecuencia del consumo de tipos de carne (por semana).....	52
Tabla 7 Frecuencia del consumo de pescado (por semana).....	53
Tabla 8 Relación del mercurio con las variables de la población	59
Tabla 9 Análisis Univariado- Factores asociados a la presencia de una concentración de mercurio perteneciente a los percentiles 60 - 100.....	61
Tabla 10 Análisis multivariado- factores que guardan una relación estadísticamente significativa después de ajustar a un modelo logístico	63

A. RESUMEN

Objetivo: El río Iténez o Guaporé nace en el Estado Brasileño de Matto Grosso, y tiene como principales afluentes dentro del territorio boliviano a los ríos Blanco y Paraguá. En estos tres ríos existen comunidades ribereñas que tienen como principal fuente de alimentación la carne de pescado, factor de riesgo principal para la exposición de la población al metilmercurio. Por otra parte el cerro San Simón, dedicado a la explotación de oro, vierte desechos de mercurio en lechos del río Iténez.

Por estas razones el estudio pretende establecer, el grado de exposición al mercurio en las comunidades seleccionadas y compararlas entre cada una. Teniendo en cuenta como posible fuente de contaminación el cerro de San Simón.

Método: Cinco comunidades ribereñas (Remanso, Mategua, Versalles, Nueva Brema y Piso Firme) de los tres ríos mencionados, fueron seleccionadas para el estudio

Se seleccionaron al azar 307 personas, basados en el censo de cada población ó de registros de salud. Para llevar a cabo el estudio, se realizaron cuestionarios socio demográficos y de hábitos alimenticios, poniendo énfasis en la frecuencia del consumo de pescado, por ser el principal factor de riesgo para la exposición al mercurio.

Se tomó una muestra de cabello de aproximadamente 6 cm de longitud de la región occipital a 2 mm de la piel cabelluda, Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA).

Para el análisis de los resultados se utilizó el paquete estadístico STATA 8, tanto para los análisis univariados como multivariados. Luego de concluir los análisis, se realizó la explicación y entrega de los resultados en cada comunidad.

Resultados: La media geométrica del mercurio es de 2,98 $\mu\text{g/g}$ de mercurio en cabellos. No se encontró ninguna relación con las variables de edad y género. El consumo de pescado mostró una relación significativa con relación a la cantidad de mercurio. La comparación entre poblaciones mostró que existen cantidades un tanto más elevadas en poblaciones del río Iténez en comparación con los otros ríos.

Conclusiones: Los resultados muestran que existe una exposición al mercurio, pero estos niveles se encuentran muy por debajo de los límites de riesgo para la salud. El pescado y su frecuencia de consumo están fuertemente relacionados con las cantidades de metilmercurio. El pescado es el principal alimento de estas poblaciones, fuente importante de Omega 3, grasas poliinsaturadas y selenio.

Debido a las diferencias encontradas entre el río Itenez y los otros ríos, se puede decir que existe algún tipo de relación entre los ingenios mineros y los niveles de contaminación.

En conclusión, podemos citar que los niveles de metilmercurio encontrados en las comunidades de estudio no representan peligro inmediato en la salud de la población, aunque no se debe descartar la posibilidad de que en un futuro, por mayor actividad antropogénica la exposición aumente, con consecuencias para la salud de los pobladores.

B. INTRODUCCIÓN

El mercurio es un metal pesado, presente en la naturaleza. Al ser liberado el aire lo transporta y se deposita en el ecosistema acuático, donde se transforma en su forma orgánica más tóxica, el metilmercurio, uno de los mayores contaminantes para los humanos (Barbosa et al. 1997; Fillion et al. 2007).

Desde hace más de 20 años alrededor de 2000 toneladas de Mercurio (Hg) se han utilizado en la minería aurífera en la cuenca del río Amazonas, éstos han sido sujeto de oxidación y metilación bajo condiciones favorables encontradas en el agua y sedimento de los ríos de la región. Como resultado, las poblaciones que viven a orillas de estos ríos han sido expuestas al metilmercurio a través del consumo de pescado contaminado. (Barbosa et al. 1997).

En Bolivia, desde la época de los Incas hasta la actualidad, la minería siempre ha sido una de las principales actividades económicas.

La serranía de San Simón, Zona Minera Aurífera, se encuentra en la región oriental de Bolivia, en la provincia Iténez, al sudeste del Departamento del Beni. Esta serranía es explotada por ingenios mineros y mineros independientes desde 1742. En San Simón todas las actividades mineras de exploración por los concesionarios y extracción por la Sociedad Minera de San Simón se llevan a cabo sin licencia ambiental alguna (Organización Internacional del Trabajo (OIT) 2000).

Estos ingenios utilizan mercurio dentro de su proceso de producción; que puede producir contaminación. Esta contaminación ambiental es provocada por alrededor de 500 pequeños mineros en San Simón, quienes emiten aproximadamente 15 toneladas de mercurio por año, las pequeñas plantas vierten sus colas a los lechos de los riachuelos y/o arroyos del río Iténez o Guaporé, constituyendo un potencial riesgo para las comunidades ribereñas que utilizan sus aguas.

C. MARCO TEÓRICO

C.1. HISTORIA

El mercurio fue conocido y utilizado desde tiempos remotos con el desarrollo de sus primeras culturas. Pueblos como China, Egipto y Asiria ya conocían la existencia del cinabrio “sulfuro de mercurio” y su aplicación como bermellón.

Algunas traducciones demuestran que los alquimistas chinos conocían bien el mercurio y sabían obtenerlo a partir del cinabrio. Existen datos donde aseguran que en China, hacia el año 1.200 a.C. se extraía mercurio de las minas de Kwichan.

Los fenicios, 700 años antes de la era cristiana, lo utilizaban para extraer y purificar el oro.

El mercurio también fue empleado por los egipcios hacia la XVIII-XIX dinastía faraónica (1.600-1.500 AC.), como lo prueba el hecho de haber encontrado mercurio líquido en una vasija funeraria de dicha época.

Figura 1 *Máscara fúnebre de la cultura Sicán (oro y cinabrio)*



En culturas latinoamericanas, como los Sicán, cultura desarrollada entre los años (700-1300 D.C.) conocidos por su orfebrería, ya se utilizaba el mercurio, como parte de decoración y pintura.

Los Incas, conocían el cinabrio al que denominaban “**Illampi**” y también lo utilizaron como pintura (1200-1500 D.C.) (Villajero 2004).

Los griegos y los romanos también utilizaron el cinabrio como pintura (bermellón) y algunos de sus más renombrados médicos, por ejemplo Hipócrates, lo utilizó en forma de ungüento, por no considerarlo tóxico por vía dérmica.

Para evitar confusiones con idénticos nombres (metal, y dioses) los griegos llamaron al metal "HIDRARGIRO" palabra introducida por Aristóteles o por Teofrasto, que significa plata líquida. Los romanos, concretamente Dioscórides, latinizaron esta expresión en "HIDRARGYRUM", que quiere decir plata viva. De esta denominación proceden el símbolo Hg del mercurio y el sustantivo "HIDRARGIRISMO", intoxicación producida por el mercurio vapor o por algunos de sus compuestos (Villajero 2004)

Posteriormente los árabes, utilizaron el término "AZOGUE" que aún perdura en el lenguaje popular. Durante la Edad Media, con el florecimiento de la Alquimia, el mercurio tuvo una singular trascendencia. La dualidad MERCURIO-AZUFRE como principio formativo de los metales fue aceptada por los alquimistas árabes y posteriormente por los medievales. Paracelso, en el siglo XVI, añadió un tercer principio: la SAL. Estos tres principios MERCURIO-AZUFRE-SAL constituyeron la TRÍA PRIMA, que sustituyó a los cuatro elementos aristotélicos: FUEGO-AIRE-AGUA-TIERRA.

El consumo del mercurio fue escaso durante más de veinte siglos, era utilizado casi exclusivamente como bermellón para la fabricación de pinturas y en medicina.

El primer impulso para el gran consumo de mercurio fue el sevillano Bartolomé Medina, al poner a punto en 1557 el método del "BENEFICIO DEL PATIO" para la amalgamación en frío de los minerales de plata. A partir de este momento las aplicaciones del mercurio empiezan a multiplicarse. Así Paracelso, en el siglo XVI, introdujo su empleo en el tratamiento de la sífilis; Torricelli, en 1643, lo utilizó en su barómetro; en 1720, Fahrenheit, en su termómetro; a Priestley le sirvió de fundamento a finales del siglo XVIII para el análisis de gases y Howard, en 1799, inventó el fulminato de mercurio.

La historia de este metal está muy ligada a la comarca de Almadén (España), ya que en esta región han aparecido los yacimientos de cinabrio más importantes, conocidos hasta la fecha. Se estima que Almadén ha producido aproximadamente la tercera parte del mercurio consumido por la humanidad, (Cano 2001).

C.2. PROPIEDADES DEL MERCURIO

El mercurio es un metal blanco plateado. Está ubicado en el grupo IIb de la tabla periódica, junto con el cadmio y el zinc.

Por sus características fisicoquímicas: se puede observar este metal en estado líquido a temperatura ambiente y a 0° C.

Desde el punto de vista bioquímico, la propiedad más importante del mercurio mercurico y los alquilmercuriales es su elevada afinidad por el grupo sulfhidrilo (*International Programme on Chemical Safety (INCHEM), 1990; Webb J. et al. 2004*).

El mercurio existe de manera natural en el medio ambiente y se da en una gran variedad de formas.

En su forma pura, se le conoce como mercurio "elemental" o "metálico" (representado también como Hg (0) o Hg⁰). Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas. Puede enlazarse con otros compuestos, como mercurio monovalente o divalente (representados como Hg (I) o Hg⁺ y Hg (II) o Hg²⁺, respectivamente). A partir del Hg²⁺ se pueden formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio.

Este metal se extrae como sulfuro de mercurio (mineral de cinabrio) que a lo largo de la historia, los yacimientos de cinabrio han sido la fuente mineral para la extracción comercial de mercurio metálico. La forma metálica se refina calentando el mineral a temperaturas superiores a los 540°C. De esta manera se vaporiza el mercurio contenido en el mineral, y luego se captan y enfrían los vapores para formar el mercurio metálico líquido.

C.2.1. Compuestos inorgánicos de mercurio.

Sulfuro de mercurio (HgS), óxido de mercurio (HgO) y cloruro de mercurio (HgCl₂). A estos compuestos también se les conoce como sales de mercurio. La mayoría de los compuestos inorgánicos de mercurio son polvos o cristales blancos, excepto el sulfuro de mercurio, que es rojo y se vuelve negro con la exposición a la luz. Algunas sales de mercurio (como el HgCl₂) son lo bastante volátiles para existir como gas atmosférico. Sin embargo, la solubilidad en agua y reactividad química de estos gases inorgánicos (o divalentes) de mercurio hacen que su deposición de la atmósfera sea mucho más rápida que la del mercurio elemental. Esto significa que la vida atmosférica de los gases de mercurio divalentes es mucho más corta que la del gas de mercurio elemental.

C.2.2. Compuestos orgánicos del mercurio.

Cuando el mercurio se combina con carbono, se forman compuestos conocidos como compuestos orgánicos de mercurio u órgano mercuriales. Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos de mercurio (como el dimetilmercurio, fenilmercurio, etilmercurio y metilmercurio), pero el más conocido de todos es el metilmercurio. Al igual que los compuestos inorgánicos de mercurio, el metilmercurio y el fenilmercurio existen como "sales" (por ejemplo, cloruro de metilmercurio o acetato de fenilmercurio) (Cano 2001).

El mercurio y sus diferentes compuestos tienen muchos y variados usos en la actualidad, como fábricas de focos de luz halógena, fábricas de cloro, explotación minera, etc. Estas actividades producen desechos y emisiones de mercurio hacia el ambiente, así como también exposición humana a este elemento, tanto en la forma ocupacional como ambiental.

C.3. EXPOSICIÓN OCUPACIONAL AL MERCURIO

Actualmente el mercurio se emplea con profusión en la industria y la agricultura, conociéndose al menos 70 trabajos que conllevan exposición a dicho metal.

Existen fuentes de contaminación que suponen un factor de riesgo para los trabajadores, la exposición de los obreros en las fábricas de sodio y cloro, o en la fabricación de termómetros, barómetros, termostatos, trompas de vacío, tubos fluorescentes, lámparas de mercurio y baterías secas de larga duración; en la industria de pinturas (pigmento rojo), catalizadores, síntesis del ácido acético o en las de detonantes de cartuchos, donde se utiliza fulminato de Hg, muy absorbible, (Villajero1999).

En el medio industrial es rara la aparición de intoxicaciones agudas y subagudas por mercurio, es más frecuente la intoxicación crónica (hidrargirismo o mercurialismo). La manera insidiosa en que se manifiesta la intoxicación crónica, y la escasa sintomatología en periodos iniciales dan como resultado lesiones irreversibles de pobre respuesta a los tratamientos aplicados hasta la fecha.

La exposición más común al mercurio en el lugar de trabajo es por inhalación de vapores lo que se constituye en la vía de exposición al mercurio más riesgosa para la salud (Organización Mundial de la Salud (OMS) 2005).

Para el mercurio líquido, la inhalación de los vapores de mercurio es la vía de exposición que plantea el mayor riesgo para la salud (OMS 2005).

Existen datos que demuestran que los instrumentos de salud que contienen mercurio suelen quebrarse (OMS 2005). Los pequeños derrames de mercurio elemental sobre superficies porosas, grietas, etc., pueden adherirse a éstas, haciendo que el mercurio sea enormemente difícil de eliminar. La limpieza y la eliminación inadecuadas pueden exponer al personal de salud a niveles de contaminación potencialmente peligrosos.

Este tipo de exposiciones accidentales hacen necesario establecer un método de control que permita detectar situaciones de riesgo y alteraciones de la salud reversible, antes que se manifieste clínicamente y de esta manera eliminar su incidencia patológica en la salud de los trabajadores expuestos.

En el contexto de la minería artesanal de oro, se utiliza mercurio metálico para amalgamar el oro, el cual se recupera quemando a temperaturas elevadas. Esta práctica expone a los mineros que no toman precauciones a la inhalación crónica de vapores de mercurio metálico, con el consecuente riesgo para la salud.

C.4. EL MERCURIO EN EL AMBIENTE

C.4.1. Fuentes de mercurio.

C.4.1.1 Fuentes naturales.

La presencia de mercurio en la Naturaleza presenta dos características especiales, debido a las propiedades atípicas de este metal.

La gran capacidad de absorción por las arcillas y otros sedimentos, que permite a este metal depositarse rápidamente en el terreno o en las aguas de ríos y de océanos. Esta característica hace que la movilidad de este metal sea pequeña, sin permitir que se extienda muy lejos del foco de emisión.

Su relativa alta tensión de vapor en estado metálico o elemental, hace que su evaporación desde los depósitos minerales y durante los procesos industriales sea elevada, por lo que se puede considerar que la contaminación más importante por causa del mercurio metálico es la emisión a la atmósfera.

Las fuentes naturales de mercurio como la evaporación de minerales y aguas, erosión de la corteza terrestre y la actividad volcánica, aportan al ciclo global del mercurio unas 50.000 toneladas por año (Lebel et al. 1998; Dolbec et al. 2000).

C.4.1.2 Fuentes antropogénicas

Se pueden considerar en dos grupos de suministro de mercurio (primario y secundario):

- Mercurio primario, constituido por la producción de mercurio procedente de las explotaciones mineras y las reservas de algunos países, la combustión de carbones, y los vertidos industriales y por las alcantarillas, son las más importantes.
- Mercurio secundario, que engloba el mercurio procedente del desmantelamiento de plantas cloro cáustico, recuperación de residuos diversos y la metalurgia de otros metales. Se debe citar dentro de éstas, la utilización del mercurio como fungicida, herbicida y conservante de semillas en agricultura; las papeleras, la industria electroquímica, su uso en pinturas y pilas, la industria de los catalizadores.

Una de las mayores preocupaciones generadas en torno a la presencia del mercurio en la naturaleza se refiere a los posibles riesgos para la salud humana. Los centros de salud también son considerados como una de las principales fuentes de liberación de mercurio en la atmósfera, debido a las emisiones causadas por la incineración de desechos médicos (*Environmental Protection Agency (EPA) 1999*).

En conjunto, el mercurio contenido en la amalgama dental y en los dispositivos de laboratorio y médicos representa alrededor del 53%, del total de las emisiones de este metal, dentro del área de salud (OMS 2005).

Actualmente se puede decir, que sobre la base de estimación hecha sobre los sedimentos de los glaciares, los depósitos atmosféricos de mercurio son el triple que de hace 150 años. Gracias a estos estudios se puede concluir que los dos tercios de mercurio emitido hacia la atmósfera son de origen antropogénico, mientras que el tercio restante es de origen natural (Piantone et al. 2002).

Otras fuentes de contaminación, antropogénicas son las deforestaciones y chaqueos, facilitando al mercurio depositarse en estas tierras (Dolbec et al. 1999).

En los suelos Amazónicos existen características especiales que permiten una mayor acumulación de mercurio que en otras zonas, por su elevada afinidad a este elemento, gracias a sus componentes ferralíticos (Roulet et al. 2001).

El uso de los suelos por actividades antropogénica y la deforestación dejan el suelo al descubierto permitiendo una mayor movilización del mercurio a través de los ríos. El chaqueo también contribuye al incremento de la contaminación por mercurio, en el caso de Bolivia especialmente por el modo de cultivo sin terraza que utilizan (Pérez et al 2008).

Por último la actividad minera que en regiones amazónicas es utilizada para la extracción aurífera, libera el mercurio utilizado hacia la atmósfera o ligado a las partículas de sedimentos. De esta forma existe un incremento del mercurio, según Maurice-Bourgoin et al. (2002), las aguas provenientes de este tipo de actividad presentan concentraciones mucho más elevadas que los límites establecidos.

C.4.2. Ciclo del mercurio

El mercurio terrestre tiene un origen magmático, que emana como producto de desgasificación a lo largo de fallas profundas, proceso que continúa en la actualidad. De este modo, el mercurio inicia su ciclo geoquímico pasando a la corteza terrestre y de ésta al aire, al agua y suelos, para pasar posteriormente a las plantas y a los animales y, por último, al hombre (Webb J. et al. 2004).

La principal incorporación del mercurio a la atmósfera se debe al vulcanismo y al proceso de desgasificación del mercurio metal, por sublimación. A partir de la atmósfera, el mercurio puede también condensarse, se precipita nuevamente y se deposita sobre los

suelos, las plantas y los recursos hídricos (Programa de Naciones Unidas del Medio Ambiente (PNUMA) 2005).

El mercurio, también puede ser vertido directamente en forma de residuos a los ríos y mares, y a través de vertidos industriales o domésticos (alcantarillado). Por último, debido al uso agrícola del mercurio, está presente como contaminante del suelo (Barbosa et al. 2001).

Como caso específico debemos citar que en la región amazónica, por sus características geológicas y tipo de contaminación antropogénica, el mercurio ingresa con mayor intensidad gracias a la deforestación de extensas áreas verdes, la minería de estas regiones y la biodisponibilidad de sus suelos

Finalmente los compuestos de mercurio presentes en el ambiente pueden ser incorporados en las cadenas tróficas, ya sea por inhalación directa, a partir de la atmósfera, o por asimilación o ingestión desde los suelos y vegetales.

C.4.3. El mercurio en ecosistemas acuáticos.

El mercurio, en su forma predominante Hg^{2+} (mercurio mercúrico), puede seguir un proceso de metilación, realizado por bacterias sulfatorreductoras en el perifiton de plantas acuáticas, dando lugar a dos especies orgánicas: el dimetilmercurio volátil, que se recicla a la atmósfera, y el metilmercurio (Lebel 1997, Roulet et al. 2001b; Barbosa et al. 1997; Barbosa et al. 2000; Soares de Campos et al. 2002; PNUMA 2005). A su vez, el metilmercurio puede transformarse en Hg^{2+} , el cual se oxida a Hg^+ , siguiendo su ciclo de biotransformación, o en Hg^0 que se deposita en los sedimentos.

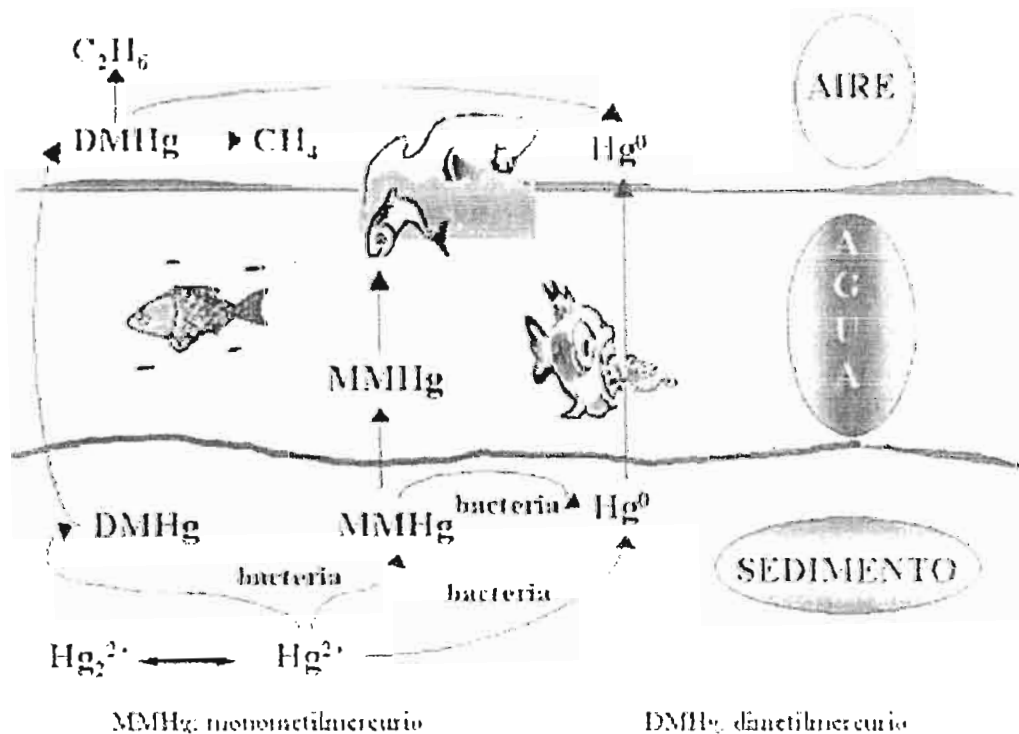
El metilmercurio se acumula en organismos pequeños como el microseston, la flora béntica, fitoplancton y zooplancton. Estos organismos son ingeridos y acumulados en los tejidos de peces pequeños herbívoros, que tienen gran afinidad por el metilmercurio. Los

peces carnívoros de mayor tamaño pueden alimentarse tanto de organismos pequeños como de peces pequeños, acumulando a su vez, mayor cantidad de metilmercurio en sus tejidos.

Como resultado, los peces carnívoros de mayor tamaño y de más edad que habitan aguas contaminadas acumulan mayores concentraciones de metilmercurio. Los mamíferos marinos y peces de agua salada (especialmente tiburones y pez espada) que viven muchos años y que pueden alcanzar un tamaño muy grande, tienden a tener concentraciones de mercurio más elevadas (Watras 1998, EPA 2005).

De esta manera se puede explicar que estas cadenas tróficas no solo bioacumulan el metilmercurio en los diferentes organismos, también lo biomagnifican o acumulan de forma progresiva, por procesos ya descritos anteriormente, esta bioacumulación está relacionada con el coeficiente de concentración en los tejidos de los peces (EPA 2005).

Figura 2 Modelo conceptual del ciclo de mercurio



C.5. TOXICOLOGÍA DEL MERCURIO

C.5.1. *Toxicocinética*

C.5.1.1 Absorción

Las vías de entrada del mercurio al organismo humano son:

Vía Respiratoria (absorción por inhalación). No es frecuente la absorción de los metales en estado de gas o vapor excepto para el caso del mercurio, siendo probablemente el único caso en que la exposición a este metal en su forma elemental es de importancia en la práctica (Canno et al 2001). En toxicología ocupacional esta es la vía más importante, por la inhalación del mercurio inorgánico (OMS 2005).

Vía Digestiva El mercurio metálico se absorbe muy poco en el tracto gastrointestinal, probablemente en cantidades inferiores al 0,01%.

En el campo de Salud Pública, esta vía de absorción es la que tiene mayor importancia, ya que el aporte de mercurio (metilmercurio) a la población *no expuesta ocupacionalmente* procede fundamentalmente de los alimentos, específicamente del pescado, donde el metilmercurio se absorbe casi por completo (Barbosa et al. 2001; Olivero et al. 2002; Tavares et al.2005)

La vía Cutánea Es muy probable que el mercurio Hg⁰ (metálico) pueda atravesar la piel, pero no se dispone en la actualidad de cifras cuantitativas. Es dudoso, sin embargo, que esta vía de absorción juegue un papel importante en comparación con otras. También es probable que el metilmercurio penetre por la piel, se han descrito casos de intoxicación debida a la aplicación local de pomadas conteniendo metilmercurio. Hasta qué punto hay absorción, no se puede estimar con los trabajos actuales (EPA 2005, Cano et al. 2001).

C.5.1.2 Transporte, distribución.

El mercurio metálico penetra la membrana del eritrocito y se une a la hemoglobina. La distribución del mercurio elemental o vapor de mercurio presenta afinidad por el cerebro. Se oxida rápidamente a Hg^{2+} en los eritrocitos o después de la difusión en los tejidos, por acción de la catalasa, que descompone el peróxido de hidrogeno (vía primaria de oxidación del vapor de mercurio en eritrocitos y demás tejidos). Luego, permanece como mercurio elemental en la sangre durante un tiempo corto, aunque suficiente para atravesar la barrera hematoencefálica (Harrison et al. 2000). El paso a través de las membranas celulares está facilitado por su mayor liposolubilidad y por la ausencia de cargas eléctricas.

Tanto en humanos como en animales de experimentación (conejo, ratón, rata), el metilmercurio se une al glutatión en el glóbulo rojo. De forma general, puede afirmarse que el 90% de los compuestos orgánicos se transporta en las células rojas. La distribución del metilmercurio es más uniforme. La mayor parte va al cerebro, hígado y riñón. Se ha detectado también en epitelio del tiroides, células medulares de las glándulas adrenales, espermatozoides, epitelio pancreático, epidermis y cristalino (Harrison et al. 2000; Saviuc et al. 2004).

Un 50% de mercurio inorgánico es vehiculado por el plasma, unido a la albúmina (Cano 2001). El mercurio inorgánico se distribuye, primero ingresando por el torrente sanguíneo, luego puede atacar los riñones y el cerebro, y presentarse insuficiencia y daño renal permanente.

La distribución y transporte del mercurio en el organismo tiende a alcanzar un estado de equilibrio, determinado por los siguientes factores:

- Dosis
- Duración de la exposición
- Grado de oxidación del mercurio

- Concentración de los compuestos de mercurio en los distintos compartimentos sanguíneos.
- Concentración en relación con los grupos sulfhidrilos libres.
- Afinidad de los componentes celulares con el mercurio.
- Velocidad de asociación y disociación del complejo mercurio-proteína.

C.5.1.3 Excreción de mercurio.

La mayor parte de metilmercurio se excreta por orina, heces y bilis, donde el metilmercurio es eliminado casi en un 90 % en mercurio inorgánico. Diariamente, el 1% del metilmercurio es eliminado por una de estas vías. Su tiempo de eliminación es de aproximadamente 80 días, aunque existen estudios donde se demuestra que su tiempo de eliminación es mucho menor, como Swartout y Rice (2000), que a través de cinco estudios, determinaron el tiempo de eliminación promedio, de 53 días. (Smith et al.1997, EPA 2005, PNUMA 2005).

En cuanto al mercurio elemental y mercurio inorgánico, tienen, las mismas vías de eliminación, por orina y heces. El mercurio elemental tiene un tiempo de eliminación de aproximadamente 60 días, y el mercurio inorgánico un tiempo de eliminación de 40 días. (Cano 2001).

Tabla 1 Toxicocinética del mercurio

	Mercurio metálico	Mercurio Inorgánico	Mercurio Orgánico
Absorción	Vía respiratoria	Vía respiratoria Vía dérmica Vía digestiva	Vía digestiva
Transporte	Glóbulos rojos, en la hemoglobina	Plasma, en la albúmina	Glutation del glóbulo rojo

Distribución	Sangre Pulmones	Cerebro Riñones	Cerebro Hígado Barrera Trans-placentaria
Excreción	Orina, heces	Orina, heces	Orina, heces y bilis
Vida media	60 días	40 días	80 días

C.5.2. *Fisiopatología*

El mercurio, bajo forma ionizada, se fija en los constituyentes orgánicos celulares ricos en grupos sulfhidrilo. Afecta así a diversos sistemas metabólicos y enzimáticos de la célula y de su pared, que mencionamos a continuación:

Acción sobre sistemas enzimáticos. Las células más sensibles son las neuronas del cerebro y cerebelo, la acción tóxica del mercurio deriva, por un lado, de la inhibición que efectúa de los grupos sulfhidrilo de numerosas enzimas, disminuye la producción energética celular y la actividad mitocondrial. Y por otro la disminución de la actividad de las fosfatasas alcalinas en las células tubulares proximales del riñón, en el cerebro y en los neutrófilos.

Acción en la inducción de la metalotioneina. Al igual que el cadmio, el cobre y el cinc, el mercurio provoca la inducción de la metalotioneina en diversos órganos. El mercurio acumulado en el riñón se une a la metalotioneina, y se incrementa en el tejido renal como consecuencia de la exposición repetida al mercurio, lo que sugiere un mecanismo de adaptación.

Acción sobre reacciones inmunitarias. El metilmercurio provoca una disminución de los anticuerpos humorales. Se ha observado que puede producirse un estímulo de la respuesta inmunitaria inicialmente, tras breves exposiciones.

Acción sobre el ácido desoxirribonucleico. El mercurio puede fijarse sobre el ácido desoxirribonucleico, inducidas por las bases de Hg^{2+} . Esto puede explicar las aberraciones

cromosómicas y anomalías congénitas observadas durante las intoxicaciones alimentarias con el metilmercurio.

Acción sobre las membranas celulares. Los compuestos mercuriales son potentes tóxicos enzimáticos, pero no específicos, la membrana celular es el primer punto atacado por los metales pesados. En la membrana citoplasmática se producen modificaciones en la electronegatividad, en la tensión superficial y perturbaciones enzimáticas. En la membrana lisosomal, se liberan enzimas proteolíticas que son factores potenciales de necrosis celular.

El mercurio causará lesiones celulares dondequiera que se acumule en concentraciones suficientes. Esto ha generado la idea de que la toxicidad selectiva del mercurio se vincula con su distribución selectiva. Sin embargo, parece que los factores de distribución por sí solos no pueden explicar la toxicidad del metilmercurio. Independientemente de la naturaleza del compuesto mercurial involucrado, el riñón es siempre el punto de más elevada acumulación (Cano 2001; Bellinger et al. 2004).

C.6. EFECTOS EN LA SALUD

El metilmercurio puede causar principalmente, alteraciones al nivel del sistema nervioso

C.6.1. Efectos neurotóxicos

La neuroencefalopatía tóxica (parestias, ataxia, espasticidad, temblor intencional, alteraciones del estado mental, defectos de aprendizaje, síntomas neurasténicos) es de las principales alteraciones, incluyendo una severa forma congénita como consecuencia de exposición prenatal (Grandjean et al.1999; Hacon et al. 2000; Sánchez et al.2000; Pinheiro et al.2005). Algunos estudios revelaron que los niños expuestos al metilmercurio, presentan déficit de la motricidad (de acuerdo al nivel de mercurio), y deficiente desenvolvimiento escolar (Grandjean et al. 2001), este tipo de patologías es mayor en la exposición prenatal (*Environmental Protection Agency (EPA) 2005*).

C.6.2. Embriopatía por metilmercurio.

Se caracteriza por un conjunto de síntomas que pueden observarse en el feto o en el recién nacido, cuando la madre se ha expuesto a cantidades elevadas de metilmercurio durante su embarazo. Puesto que la exposición materna a metilmercurio se da sobre todo a través de consumo de pescado, se recomienda que las mujeres en edad de maternidad no deban consumir más de 0,1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ /de peso corporal por día (EPA 2005). Se recomienda que mujeres embarazadas no deban estar expuestas en el trabajo a concentraciones en aire de vapor de mercurio mayores a 0,01 mg/m^3 , y a compuestos inorgánicos y fenilmercúricos mayores de 0,02 mg/m^3 , o a ninguna concentración detectable de metilmercurio. Los niños expuestos *in utero* al metilmercurio pueden presentar retraso psicomotor y parálisis cerebral además de otras anomalías. (Gnansia, et al 2006).

Las normas internacionales (*International Programme on Chemical Safety* (OMS/IPCS), 1990; *National Research Council* (NRC), 2000), concluyeron que el feto en desarrollo y el recién nacido son los más sensibles a los efectos en el sistema nervioso.

Estos efectos se pueden observar incluso a niveles de exposición en que la madre conserva la salud o sufre sólo síntomas menores (OMS/IPCS, 1990; Pirrone et al., 2001).

C.6.3. Alteraciones neurológicas a muy bajas dosis in útero

Estudios como los de las Islas Feroe, Sheychelles y Nueva Zelanda, han intentado establecer valores límite, evaluando el impacto de la exposición materna por el metilmercurio en mujeres embarazadas sobre el desarrollo neurológico de los niños (NRC 2000).

Investigaciones en las islas Feroe que iniciaron un estudio de cohorte el año 1997, con un seguimiento del desarrollo de los niños desde el nacimiento, evidencian que a bajas dosis de exposición de metilmercurio *in utero* 20,4 $\mu\text{g}/\text{L}$, existen alteraciones neurológicas en los niños, anomalías asociadas al aumento del tono reflejo según Grandjean et al. (2003), efectos encontrados en niños de 7 años de edad con cierto retraso neurosicológico. Estos fueron comparados con los primeros resultado (Grandjean et al. 1999) del mismo estudio de cohorte, donde los niños tenían un mejor desenvolvimiento. Siete años más tarde en este

mismo grupo de estudio, Debes (2006), aseguró que los niños que presentaban mayor exposición, tenían un déficit del lenguaje que se volvía a observar a los 14 años de edad.

Los resultados de las islas Feroe, son cuestionados por algunos autores, porque existe una variable confundente, ya que la población también se encontraba expuesta a Policloruro de Bifenilo (PCB). Los autores del estudio aseguraron que incluyeron este factor dentro de los análisis, asegurando que el PCB no tenía ninguna significancia con los déficits neurológicos encontrados, en comparación con el mercurio. Sin embargo revisiones de la NRC y de la EPA, reportan que los resultados muestran que existe una alta relación con el metilmercurio y el PCB, en el sentido de que a mayor cantidad de PCB, mayor afinidad de los tejidos al metilmercurio.

En Nueva Zelanda, Kjellstrom et al. (1986), observó que el desarrollo de ciertas habilidades se veían afectadas en los niños cuyas madres tenían concentraciones alrededor de $10\mu\text{g/g}$ de mercurio en cabellos. Sin embargo, reportes de la EPA, critican dicho estudio, argumentando que los grupos menos expuestos son diferentes para la comparación de los resultados, además de no aclarar si existe o no exposición a otros contaminantes, que serían de gran importancia para este tipo de estudio.

En las islas Sheyelles se realizó otro estudio similar, donde la población consumía mayor cantidad de pescado, en contraste con los otros dos estudios, donde se consumen mamíferos marinos, pero los niveles de mercurio eran más bajos en comparación a los anteriores. De los exámenes realizados a los niños, no se observaron efectos en el desarrollo neurológico con relación a la exposición. (Davidson et al. 2000; Myers et al.2000). El NRC y la EPA, también observaron que este estudio no resulta comparable, con los anteriores dos, por presentar una población mucho menor (779 madres y niños) que las anteriores (Nueva Zelanda: 935 madres y 237 niños; Feroe: 1,023 madres y niños), y con concentraciones de mercurio mucho más bajas.

Estudios en la Amazonía como el de Grandjean et al. (1999), buscaron alteraciones neurológicas a niveles bajos de exposición. Sin embargo, dentro de sus conclusiones también aseguraron que la calidad de vida, la pobreza, la mala nutrición y el nivel

educativo de las regiones estudiadas no aseguraban un buen rendimiento intelectual de los niños aún sin la exposición al metilmercurio. Tavares et al. (2005) realizaron un estudio en la localidad de Barão de Melão en el Mato Grosso, donde se aplicaron seis tipos de tests para comprobar si la exposición del metilmercurio producía efectos neurológicos en el desarrollo de estos niños. Los autores concluyeron, de la misma forma que Grandjean et al. (1999), que no es posible aseverar que el metilmercurio juegue un papel fundamental en el déficit neurológico de éstos niños, dado que los factores socio demográficos tienen un papel importante dentro de estos.

C.6.4. Alteraciones cardiovasculares

Algunos estudios indican que a mayor ingesta de pescado contaminado con metilmercurio, existe un mayor riesgo de presentar infarto de miocardio, o bien patologías vasculares de otro tipo. Sin embargo, todas estas investigaciones sustentaron que esta probabilidad de enfermedades cardiovasculares, es manifestada en pacientes expuestos al metilmercurio desde su gestación *in utero* (NRC 2000; Oka, et al. 2003; Guallar, et al. 2002). Por otro lado, algunos autores sostienen que la alta probabilidad de presentar enfermedades cardiacas se debe más al estilo de vida que la exposición al metilmercurio (Yoshisawa et al. 2002). Estudios sobre metilmercurio y la presión arterial en la Amazonía, sustentan que existe una relación entre el aumento de la presión arterial y los niveles elevados del metilmercurio (Fillion, et al. 2007).

C.6.5. Carcinogenicidad

Ciertos estudios identificaron la relación entre metilmercurio y cáncer (*International Agency for Research on Cancer* (IARC) 1993), donde se considera que sus compuestos son carcinógenos. OMS 1990, reportó al metilmercurio como mutágeno poco potente, pero capaz de causar genotoxicidad. Wulf et al. (1986) en sus investigaciones señaló que la ingestión de alimentos contaminados con metilmercurio mostraron aberraciones cromosomales en los humanos. Sin embargo podemos decir que la interpretación de estos estudios es limitada y poco estudiada.

C.7. BIOMARCADORES

Los biomarcadores de mercurio son frecuentemente usados para la determinación de exposición y riesgos o efectos en la salud, aunque las variables interindividuales no son bien conocidas. La disponibilidad de información sobre la cinética del mercurio está basada sobre 25-35 años de estudios experimentales, algunos con niveles de exposición elevados con un número limitado de voluntarios (Berglund et al. 2005).

Dos de los biomarcadores más estudiados para la exposición al metilmercurio son cabello y sangre. Numerosos estudios han examinado la relación entre el mercurio y el metilmercurio y, consecuentemente, las concentraciones en cabello, sangre y orina. Se ha demostrado que la determinación de mercurio en orina es más apropiada para la exposición de mercurio inorgánico, especialmente en estudios en los que se requieran exposiciones al mercurio por su uso ocupacional (Pesch et al. 2002; Pellizzari et al. 1999; Batista et al. 1996).

C.7.1. Niveles de mercurio en sangre.

La distribución del mercurio orgánico e inorgánico entre los glóbulos rojos y el plasma son calculados por el porcentaje total de mercurio orgánico.

La concentración total de Hg en sangre es usada frecuentemente para la medición aproximada de Hg^{2+} en personas que consumen pescado, con la presunción de que la exposición al mercurio inorgánico y por tanto la concentración es mucho más baja. En la sangre más del 90% del Hg^{2+} esta ligado a la hemoglobina de los glóbulos rojos, mientras que el mercurio inorgánico está distribuido entre los glóbulos rojos y el plasma. De esta forma se utiliza como medida de Hg total y del Hg^{2+} las concentraciones encontradas en los glóbulos rojos, y para la medición del mercurio inorgánico se utiliza la concentración total encontrada en el plasma (Berglund et al 2005).

C.7.2. Niveles de mercurio en orina.

La concentración total de Hg en la orina es usada como medida para la exposición al mercurio inorgánico (Berglund et al. 2005).

En los trabajadores de la industria expuestos al mercurio inorgánico, los niveles de mercurio elevados en orina se relacionan con los síntomas neuropsiquiátricos excesivos, niveles elevados en orina de N-acetil-β-D-glucosaminidasa, glutatión peroxidasa y velocidades de conducción motriz media reducidas (Malm et al. 1997).

Algunos autores piensan en cifras de 300 µg de mercurio en orina recogida en 24 horas, como las característicamente asociadas a signos y síntomas clínicos, aunque otros opinan que la concentración máxima admisible es de 50 µg/L. (Berglund et al. 2005).

C.7.3. Análisis del cabello.

En contraste con la determinación de metilmercurio por sangre, éste método no invasivo se puede realizar sin supervisión médica.

La determinación del mercurio total en cabello es utilizada con frecuencia como indicador de la exposición al metilmercurio, pues se asume que más del 80% del mercurio en cabello se encuentra en forma de metilmercurio. El metilmercurio en cabello da parámetros no sólo del nivel de exposición en el ser humano, también se puede precisar el tiempo de exposición, pues el mercurio a tiempo de la formación del cabello, penetra por los capilares dentro de los folículos pilosos (Dolbec et al. 2001). El cabello crece a razón de aproximadamente un centímetro por mes, de modo que el metilmercurio puede ser recapitulado en cada centímetro de cabello. El mercurio en el cabello es asociado con la concentración del Hg²⁺ en la sangre (Berglund et al. 2005).

C.8. LÍMITES PERMISIBLES DE MERCURIO

La OMS y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), son los organismos encargados de establecer los límites máximos permitidos de contaminantes, lo que se conoce como la Ingesta Diaria Aceptable (ADI).

Sin embargo, cada país puede establecer los niveles máximos permitidos de contaminantes en los distintos alimentos. Estas instituciones incentivadas por los grandes desastres de Minamata e Iraq realizaron cálculos de valores umbral (*threshold*), la ingesta semanal de metilmercurio o mercurio (Dosis de Referencia – DdR e Ingesta Semanal Tolerable Provisional).

Gracias a datos obtenidos por el NRC de Estados Unidos en el año 2000 se determinó que: La DdR (dosis de referencia) considerada como no letal (efectos en el desarrollo neuronal) es de 58 μ g/l en sangre del cordón umbilical y 10 μ g/g en cabello, y por daño causado in útero con déficit neurológico en niños es, 1 μ g/kg de peso corporal por día de ingesta. (NCR 2002).

D. ANTECEDENTES.

En los años 1932 a 1968, la Chisso Corporation, empresa de petroquímicos, fertilizantes y plástico, vertió 27 toneladas de compuestos de mercurio en la Bahía y el río de Minamata (Japón). Este compuesto ingresó a través de la cadena alimenticia y fue consumido por los aldeanos en pescados tomados de la Bahía. Miles de personas fueron afectadas entre 1953 y 1973 (20 años después) por lo que se llamó a este cuadro la “enfermedad de Minamata”.

En Iraq, entre 1971 y 1972 cientos de personas murieron y muchos fueron hospitalizados después de comer un pan hecho con 90.000 toneladas de semillas de trigo importado que estaba previsto para plantar y había sido tratado con fungicida de alquimercurio. Las bolsas de las semillas fueron etiquetadas para no ser comidas pero la advertencia fue hecha en español. El pan contenía en promedio 7.9 ppm de metilmercurio.

En la Amazonía, por su condición geológica y el desarrollo de comunidades y explotaciones auríferas, se han reportado varios estudios de contaminación por metilmercurio en las comunidades ribereñas, principalmente en Guyana Francesa y Brasil, sobre todo en las cuencas del río Tapajós y el río Madeira, donde se han llevado a cabo medidas de intervención y prevención (Lebel et al. 1997; Cordier et al. 2002; Clarkson 2003)

En la Amazonía boliviana, se realizaron tres estudios, de determinación del metilmercurio en cabellos, en regiones del alto río Beni y bajo río Beni, zonas de explotación de oro aluvial, en comunidades ribereñas y grupos indígenas (Maurice-Bourgoin et al. 2000; Monrroy et al. 2008; Barbieri et al. 2009).

no creen necesario restringir tan importante alimento.

Dolbec et al. 2000 Methylmercury exposure affects motor performance of a riverine population of the Tapajós river, Brazilian Amazon

Estudio realizado en la población de Tapajós, donde participaron personas entre los 15-79 años. A cada participante se le realizaron exámenes de sangre, y cabello para la determinación de mercurio, teste psicomotores (Santa Ana, Grooved pegboard, Fingertapping), teste para la evaluación de la resistencia. Los resultados mostraron niveles de mercurio con una media de $9\mu\text{g/g}$, donde existe una relación significativa entre los niveles de mercurio y los efectos sobre las funciones motoras.

Lebel et al. 1997 Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population

En aguas del río Tapajós, se realizó un estudio para la determinación de mercurio en 40 especies de éstas aguas, los resultados mostraron que su concentración de acuerdo al tipo de pez es la siguiente; los omnívoros y carnívoros mostraban niveles por encima de $0.5\mu\text{g/g}$. Al mismo tiempo se estudiaron hábitos alimenticios de las comunidades ribereñas del río Tapajós, y se determino mercurio en cabellos, las personas que consumían en su dieta pescado con predominancia tenían una concentración de mercurio de ($16.15\mu\text{g/g}$), personas con dieta mixta ($14.8\mu\text{g/g}$) de mercurio y personas que consumían poco pescado tenían niveles de ($7.8\mu\text{g/g}$) mercurio. Estos estudios también revelaron que los peces omnívoros y carnívoros con mayores niveles de mercurio son consumidos en gran cantidad en temporada de lluvia al contrario de los herbívoros, que se encuentran en mayor cantidad en temporada seca.

Pinheiro et al. 2005 Comparative study of human exposure to mercury in riverside communities in the Amazon region

Es un estudio simultáneo realizado en São Luiz do Tapajós, Barreiras, Panacauera y Pindobal Grande. Los resultados encontrados en las diferentes comunidades mostraron que São Luiz do Tapajós, Barreiras presentaban los niveles mas altos de mercurio en su

población, sobrepasando de manera considerable los niveles límites impuestos por la OMS. Por tal motivo este estudio propuso la importancia de monitorear estas comunidades.

Cordier et al. 1998 Mercury exposure in French Guiana: Levels and Determinants

Este estudio fue realizado en 13 centros de salud dispersados geográficamente dentro de Guyana Francesa. De estos 13 centros, se realizaron exámenes a 500 personas, que fueron evaluadas por cuestionarios para sus hábitos alimenticios y se tomaron mechones de cabello de cada participante para la determinación de mercurio. Más del 12% de los encuestados excedieron los niveles permisibles de mercurio 10 µg/g, y dentro de éstas más del 79% de los niños sobrepasaban estos límites. Los resultados de este estudio indicaron que la dieta juega un papel importante en comunidades que tiene un nivel importante de contaminación.

Barbosa-Dorea 1998 Indices of mercury contamination during breast feeding in the Amazon basin

Este estudio fue realizado a 47 madres y niños en lactancia de 0.5 a 15 meses de edad en comunidades que viven a lo largo del río Madeira. Las mediciones se realizaron en la leche materna y cabellos de la madre y del niño. Los resultados, mostraron un mercurio total en leche materna de 5.2 ng/g, que se encontraba dentro de los límites tolerables. El mercurio en cabellos fue significativamente más alto en las madres en comparación a los niños. La correlación de análisis demostró que la contaminación de mercurio en los niños esta directamente relacionada con la contaminación de mercurio durante el embarazo y no así durante el periodo de lactancia.

Dolbec et al. 2001 Sequential analysis of hair mercury levels in relation to fish diet of an Amazonian population, Brazil

Estudio realizado en riveras del río Tapajós, a 36 mujeres de diferentes comunidades dispersadas por éste río. Este estudio consistió en cuestionarios a cada una de las mujeres

acerca de sus **hábitos alimenticios**, datos sociodemográficos y la determinación de mercurio en cabellos, donde cada participante dio un mechón de alrededor de 24 cm. de largo. Los **resultados mostraron** que los niveles de mercurio en los cabellos variaban por temporadas, los **niveles más altos** se observaron en temporada seca y niveles más bajos en temporada de lluvias. **También** se vio que a mayor consumo de pescado, mayores niveles de mercurio **presenta la persona**, sin dejar de lado las especies de pescado carnívoras que son las que **tiene mayor mercurio** acumulado en su cuerpo.

Cordier et al. 2001

Neurodevelopmental Investigations among Methylmercury-Exposed Children in French Guiana

Es un estudio **realizado en niños** de tres comunidades en Maroni, Camopi y Awala de la costa Atlántica. La **exposición al metilmercurio** fue medida por la determinación de mercurio en **cabellos de los niños** y sus madres y tests neurológicos. Los resultados mostraron que los **mayores niveles de exposición** se encontraban en Maroni con una media de 12.7 µg/g. Los **tests realizados** mostraron que si bien existe algún daño neurológico por la exposición al mercurio, **ésta interpretación de resultados** es limitada, porque en algunos casos estos **déficit no solo se deben a la exposición al mercurio**, dependen también de factores socioeconómicos, **hábitos alimenticios**, etc.

F. JUSTIFICACIÓN

En la Amazonía boliviana existen sólo tres estudios sobre la contaminación de poblaciones del río Beni. Éstos tienen como característica común la explotación de oro utilizando mercurio. Maurice-Bourgoin et al. en el 2000 realizaron un estudio en un grupo étnico específico, que reveló niveles de metilmercurio muy cercanos al límite permisible (9,81 $\mu\text{g/g}$). Por otro lado Monrroy et al. 2008 y Barbieri et al. 2009 tomaron en cuenta una población de estudio más heterogénea y con mayor cantidad de participantes, demostrando un menor grado de exposición (4 $\mu\text{g/g}$ y 3,02 $\mu\text{g/g}$).

Este hecho ha generado una reciente preocupación por parte de diferentes organizaciones en conocer con certeza si las emisiones de mercurio desechadas por las actividades mineras, representan un riesgo para el ambiente y la salud de las personas.

Existe un vacío de información que es necesario llenar con proyectos de investigación. Poseer nuevos datos de información, nos permitirá crear propios parámetros de comparación, para tener una idea más clara de la situación actual en salud de nuestro país. Y con este trabajo pretendemos tener un panorama más amplio de ello.

G. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

G.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTA

El mercurio es uno de los mayores contaminantes, que desde hace años ha sido utilizado en actividades mineras y ha contaminado ríos de la cuenca Amazónica. Por ciertos procesos de oxidación y metilación el mercurio ingresa a la cadena trófica acuática y por ende al ser humano a través del consumo de pescado.

Ingenios en el cerro San Simón dedicados a la explotación minera desde hace más de 200 años vierten desechos de mercurio a colas del río Itenez, donde pobladores de comunidades ribereñas utilizan sus aguas y sus productos para su consumo, convirtiéndose estos factores en riesgos importantes para su salud.

¿Cuál es el grado de exposición al mercurio total en las poblaciones ribereñas de la cuenca del río Iténez?

G.2. HIPÓTESIS

Hipótesis: La exposición al mercurio es mayor en las poblaciones ribereñas del río Iténez en comparación con los ríos Banco y Paraguá.

Hipótesis Nula: No existe ninguna diferencia entre la exposición de las poblaciones del río Itenez y sus tributarios.

G.3. OBJETIVOS

G.3.1. Objetivo general

Determinar los niveles de mercurio en cinco poblaciones ribereñas del río Iténez, y sus tributarios, el río Blanco y el río Paraguá.

G.3.2. *Objetivos específicos*

Describir los aspectos demográficos de las comunidades seleccionadas del área de estudio.

Especificar la frecuencia de consumo de pescado de las comunidades.

Comparar niveles de mercurio en cabellos por comunidades.

Identificar las comunidades con mayores niveles de exposición al mercurio.

G.4. TIPO Y DISEÑO DE ESTUDIO

Se realizó un estudio transversal, descriptivo con componente analítico.

Su ancho máximo es 570 m y el mínimo 107 m. Sus principales afluentes en territorio boliviano son los ríos Itonomas, Blanco, Negro, San Antonio, San Joaquín, Machupo, Curichal, San Simón, Paraguá, Paucerna y el Verde. (Montes de Oca 2005).

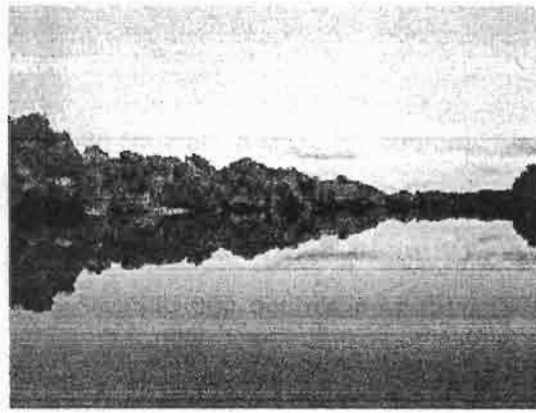
Figura 4 Ríos de la zona de estudio



Río Iténez



Río Blanco



Río Paraguá

H.1.2. Provincia Iténez

En el Departamento del Beni se encuentra la Provincia Iténez, conformada por tres secciones municipales:

- Magdalena (Primera Sección y Capital de Provincia)
- Baures (Segunda Sección)
- Huacaraje (Tercera Sección)

Los municipios que se tomaron en cuenta para el estudio, son Baures y Magdalena.

En la hidrografía de ambos municipios se encuentran el río Iténez y sus afluentes, río Blanco y Paraguá, que forman parte del estudio.

Cada municipio cuenta con un número de comunidades de acuerdo a su extensión territorial. Magdalena, por ser la más grande, posee 30 comunidades, y Baures cuenta con 12 comunidades.

El municipio de Magdalena tiene mayor cantidad de población, en comparación con los otros dos municipios. Con una tasa de crecimiento del 2.57% (*CENSO 1992- INE*), le sigue el municipio de Baures.

A nivel socioeconómico existe una semejanza entre las comunidades seleccionadas. Todas tienen electricidad generada por motores a diesel, restringida por horarios, ninguna cuenta con agua potable ni alcantarillado. En cuanto al nivel educativo y de salud, de acuerdo con el número de habitantes, todas cuentan con centros educativos y de salud (hospitales o postas de salud). La accesibilidad a estas comunidades sólo se las realiza por lancha o avioneta, a excepción de Remanso, que tiene acceso a una vía terrestre sólo transitable en época seca.

Tabla 2 Número de Habitantes

Comunidades	Nº de Habitantes
Piso Firme	188
Remanso	647
Mategua	54
Versalles	116
Nueva Brema	128

Fuente: Centros de Salud de las comunidades

I. METODOLOGÍA

I.1. CENSO DE POBLACIÓN – MUESTRA

Para el tamaño muestral, utilizamos el programa nQuery Advisor 7.0, donde calculamos una media esperada de 5 ppm y una desviación estándar de 2,5 y una precisión aproximada de la media de 1 ppm. Estos valores fueron calculados en comparación con el estudio de Cachuela Esperanza (Barbieri, et al. 2009).

Todos estos parámetros sirvieron para calcular el tamaño muestral por población, donde el programa sugiere que por cada población debemos tomar en cuenta, un mínimo de 30 personas. Este cálculo se tomó en cuenta para un intervalo de confianza sobre 95%, y un error $\alpha = 0.05$.

Para este fin se utilizó el censo de cada población realizado en la primera fase del proyecto) seleccionando un total de 307 participantes al azar simple, distribuidas entre las cinco comunidades seleccionadas, asignando a cada participante un número aleatorio de código según el cual fueron reordenados para la selección. De cada comunidad seleccionamos 30 personas, y el restante se calculó de acuerdo al número de habitantes de cada población.

I.2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN/EXCLUSIÓN

Todas las personas seleccionadas para el estudio que aceptaran participar en el estudio y niños mayores de 2 años.

Las personas excluidas son niños menores de 2 años y personas que no aceptaran o no estuvieran de acuerdo con el estudio.

I.3. INSTRUMENTO (CUESTIONARIO)

Los cuestionarios para cada comunidad se realizaron casi en su totalidad en el centro de reuniones de cada pueblo, los responsables (sub-alcaldes, coordinadores, personal de salud) se encargaron de citar a todas las personas seleccionadas. Las personas que no pudieron llenar el cuestionario en el centro de reuniones, fueron encuestadas en sus domicilios o fuentes de trabajo.

Los encuestadores fueron capacitados en el llenado de los cuestionarios, y tomaron sólo de 5 a 10 minutos por persona para realizar las encuestas.

El cuestionario utilizado, estuvo dirigido a investigar los hábitos alimenticios de los participantes; frecuencia de consumo de pescado, especies más consumidas, y la temporada en la que consumen pescado con mayor frecuencia. También se preguntó sobre la frecuencia del consumo de otras carnes domésticas y de monte.

De igual forma, el cuestionario registró datos demográficos como ocupación, edad, tiempo de residencia en las comunidades de estudio (Anexo, Modelo de cuestionario).

I.4. MEDICIÓN (VARIABLES)

- Dependientes
- Mercurio en cabellos (cuantitativa).
- Mercurio en cabellos (dicotómica).
- Independientes
- Género
- Edad (cuantitativa).
- Edad (categórica)
- Ocupación.
- Antecedentes de trabajo en minas (explotación de oro).
- Frecuencia de consumo de carne doméstica, carne de monte, pescado.
- Consumo de pescado (dicotómica).
- Especie de pescado más consumido.
- Control
- Edad
- Tiempo que vive en la comunidad.

Tabla 3 Operacionalización de variables

VARIABLES DE INCLUSION/ EXCLUSIÓN			
Variables	Definición operacional	Tipo de dato	Valores
Edad	Edad de la persona, en años	Cuantitativa discreta	Años de edad
Tiempo que habitan en la comunidad	Años completos que habita en la comunidad	Cuantitativa discreta	Años
VARIABLES DEPENDIENTES			
Variable	Definición operacional	Tipo de dato	Valores
Hg en cabellos	Concentración de mercurio total en cabellos, medida en ppm.	Cuantitativa continua	Valor en $\mu\text{g/g}$
Hg en cabellos	Categorización de la variable, tomando el 40% inferior de la distribución(es decir los niveles más bajos como el grupo de referencia y el 40% superior de la distribución (los niveles más elevados) como el grupo expuesto, ignorando el 20% restante	Cualitativa dicotómica	0= 40% inferior 1= 40% superior
VARIABLES INDEPENDIENTES			
Variable	Definición operacional	Tipo de dato	Valores
Sexo	Género de la persona encuestada	Cualitativa dicotómica	0=femenino 1=masculino

Edad	Edad de la persona en años completos	Cuantitativa discreta	Años de edad
Edad	Conversión de la anterior variable, en grupos etéreos con características similares	Cualitativa ordinal categórica	0=1-15 años 1=16-45 años 2= 45 o mas años
Comunidad	Comunidad en la que habita la persona entrevistada	Cualitativa Nominal categórica	0= Piso Firme 1=Remanso 2=Mategua 3=Versalles 4= Nueva Brema
Ocupación	Ocupación principal de la persona	Cualitativa nominal categórica	0=niños 1=sedentarios 2=eventuales 3=mineros
IDA	Índice de diversificación alimenticia	Cuantitativa continua	Índice obtenido
Especie	Especie de pescado mas consumido	Cualitativa nominal politómica	Nombre del pescado

J. PROCEDIMIENTO.

J.1. IDENTIFICACIÓN DE LAS LOCALIDADES.

Para la identificación de las comunidades, se tomó en cuenta al Cerro San Simón como punto central y posible fuente de contaminación. A partir de este punto, se seleccionaron comunidades a diferentes distancias del cerro localizadas en las cuencas del río Iténez, río Blanco y Río Paraguá con el propósito de comparar niveles de exposición al mercurio entre las diferentes comunidades.

Cinco comunidades fueron seleccionadas. Dentro del municipio de Baures, el más cercano al cerro minero, se seleccionaron las localidades de Piso Firme, Remanso y Mategua, y dentro del municipio de Magdalena, las comunidades de Versalles y Nueva Brema.

Remanso, Mategua y Versalles se encuentran sobre la ribera del río Iténez, mientras que las otras dos comunidades se encuentran sobre las riberas de sus tributarios.

J.2. ENTREVISTAS

Dentro de la primera fase del proyecto, se realizaron entrevistas a los pobladores de las comunidades, a fin de obtener datos demográficos para el estudio. Al mismo tiempo se realizó un censo de la población con la ayuda del personal de salud y dirigentes de cada localidad, basando nuestros datos en censos previos de las comunidades y de los últimos registros de salud de cada posta (*Campaña contra la fiebre amarilla*).

También se realizaron cuestionarios de hábitos alimenticios y ocupación.

En la segunda fase, se realizaron reuniones colectivas con cada comunidad, para una retroalimentación de nuestro propósito, se tomaron cuestionarios y muestras de cabellos de las personas que fueron seleccionadas dentro de cada población.

3. MUESTRAS DE CABELLO

Se recolectaron 312 muestras de cabellos a personas seleccionadas dentro de las cinco comunidades de estudio. Se tomaron alrededor de 500 mg de cabello de la región occipital, 2 mm de la piel cabelluda con tijeras de acero inoxidable.

Se colocaron las muestras en fichas de cartulina blanca, codificadas.

Se seleccionaron los seis centímetros proximales de cada muestra, con el fin de uniformar el periodo de tiempo de la exposición, sin importar el largo inicial del cabello de la persona.

Figura 5 Toma de la muestra de cabello



4. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA), dependiente del Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), para la determinación de mercurio total por espectrometría de absorción atómica con vapor frío.

Las muestras de cabello fueron lavadas con solución EDTA y luego fueron secadas y cortadas en trozos muy pequeños (homogeneizando la muestra) para ser pesadas.

Siguiendo diferentes procedimientos, estas muestras fueron digeridas (peróxido de hidrógeno y ácido nítrico), para que el mercurio iónico fuera reducido a mercurio atómico, que es analizado con *Flow Injection Analysis System (FIAS)*, donde los vapores de Hg atómico son arrastrados por medio de un flujo de argón dentro de una celda de cuarzo. Estos vapores absorben el rayo de una lámpara de mercurio atravesándola y determinando de esta forma la cantidad de mercurio total en las muestras.

J.5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

J.5.1. Análisis estadístico

Se utilizó el paquete estadístico STATA 8 para el análisis descriptivo y analítico de todas las variables.

Para el análisis de los resultados univariados se emplearon varias pruebas paramétricas y no paramétricas, normalizando las variables de interés.

Convertimos la variable principal (Hg) en escala logarítmica, a fin de normalizar la distribución y para comprobar dicha normalización se emplearon gráficos y el test Shapiro-Francia.

Para la comparación de variables cuantitativas con respecto a una variable dicotómica, se utilizó la t de Student, mientras que para la comparación de estas mismas variables con respecto a una variable categórica se empleó ANOVA (*Analysis of Variance*). En ambos casos, se verificó la homogeneidad de las variables con el test de Bartlett's. Para la comparación de frecuencias entre variables dicotómicas y categóricas, se empleó el χ^2

La correlación de Pearson y la regresión lineal fueron utilizadas para investigar la correlación entre variables, para buscar relaciones la variable dependiente y las

independientes. Estas relaciones se representaron en gráficos como el *scatter-plott*, para obtener datos de predicción sobre las regresiones encontradas.

Para las variables que no se pudieron analizar con los tests mencionados, por no poseer una distribución normal, utilizamos test no paramétricos como el Kruskal - Wallis.

El Odds Ratio, se obtuvo utilizando modelos de regresión logística, para lo cual se transformó la variable de exposición en binaria, tomando en cuenta solo los percentiles 40 superior e inferior de la distribución.

Dentro del análisis multivariado se utilizaron todas las variables que mostraron una relación dentro del análisis univariado, para determinar la influencia de las posibles variables contundentes en el modelo.

J.5.2. Gestión de datos

Las variables fueron categorizadas de la siguiente forma.

La variable género fue categorizamos en (0, 1) para femenino y masculino respectivamente.

La variable pueblo se categorizó en cinco grupos, por la comunidad a la que pertenece cada participante:

Las variables de alimentación se clasificaron de la siguiente manera.

Frecuencia de consumo de tipo de carne (carne de monte, carne doméstica y pescado).

Especie de pescado que consumen más (7 especies de pescado más nombrados)

También creamos una variable de trabajo en la mina, que categorizamos como un si y un no, (0, 1).

Para los diferentes test las variables sociodemográficas; edad, género y población, alimentación fueron re categorizadas de la siguiente forma:

La variable edad fue categorizada en tres grupos < 15 años, de 15 a 45 años y > de 45 años de edad, para poder hacer un análisis de los grupos de edad que pudieran tener mayor

relación en comparación con otras variables. El grupo de de < 15 años fue tomado como grupo de referencia.

La variable del pueblo se re categorizó en; pueblos que pertenecen al río Iténez y pueblos que pertenecen a otros ríos.

Las variables de alimentación fueron clasificadas de la siguiente manera: la variable pescado, que indica la frecuencia de ingesta por semana, fue re categorizada en dos grupos (< de 14 y > de 14).

De las variables socioeconómicas, sólo se tomó en cuenta la ocupación, que categorizamos en seis grupos de trabajo más predominantes, (estudiantes, amas de casa, agricultores, construcción, desocupados, profesores). Dentro de este grupo se encuentran los estudiantes que son tomados en cuenta como grupo de referencia. A los niños comprendidos entre las edades de 6 a 18 años se los agrupó bajo la categoría "Estudiantes", considerando que la ausencia de trabajo los volvía comparables con los otros grupos.

K. RESULTADOS

K.1. DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS

Del total de pobladores de las cinco comunidades seleccionadas (1133 habitantes), 312 personas participaron en nuestro estudio.

De las personas participantes 162 fueron mujeres (53%), y 141 varones (47%), las edades tomadas en cuenta tienen un rango entre los 2 y 83 años, con un promedio de 27 años.

No hay diferencias importantes de edad entre los diferentes pueblos. Todas las poblaciones tienen una media similar entre 22 – 27 años con excepción de Remanso, que presenta una media de 31 años. Esto probablemente se deba al mayor número de habitantes, y mayor migración de las personas jóvenes a ciudades más grandes en busca de educación superior o trabajo. Como se dijo anteriormente Remanso tiene mayor accesibilidad vial y por tanto más posibilidades de migración de la gente.

Tabla 4 Media de edad por población

Población	Nº	Media	0-15	15-45	45>
Mategua	34	22,6	13	16	5
Nueva Brema	47	23,1	23	17	7
Piso Firme	54	26,1	24	19	11
Remanso	118	31,3	37	53	28
Versalles	49	24,8	21	21	7

K.2. DATOS SOCIOECONÓMICOS

Dentro de los datos socioeconómicos se tomó en cuenta la ocupación de la persona encuestada y si alguna vez trabajaron en la explotación del oro.

La variable trabajo se clasificó en siete grupos, donde observamos que el mayor porcentaje de la población se encuentra dentro del grupo clasificado como Estudiantes con un 34% (Ver tabla 5). Los estudiantes inician actividades escolares desde los 6 años de edad.

Tabla 5 Repartición de la población por ocupación

Ocupación	Nº	%	Mujeres	Varones
Estudiantes	103	34,1%	58	45
Agricultores	58	19,2%	1	57
Construcción	11	3,6%	0	11
Desocupados	16	5,3%	6	10
Labores de casa	91	30,1%	87	4
Profesores	23	7,6%	9	14

Se preguntó a todos los adultos encuestados, si trabajan o alguna vez trabajaron en la explotación del oro, dando como resultado apenas 44 personas (14% del total, con edad para trabajar) que indicaron trabajar en la explotación del oro (cabe mencionar que ninguna de estas personas trabaja actualmente en la explotación de oro).

K.3. HÁBITOS ALIMENTICIOS

La carne de pescado es parte fundamental de la alimentación de los pobladores de la región, no sólo por accesibilidad del alimento, sino también porque las condiciones geográficas y económicas de las poblaciones no permiten el consumo de otro tipo de carnes. Por ello se

observó una media de 17,2 en frecuencia de consumo por semana, en comparación del consumo de las otras carnes.

La carne doméstica y de monte, como se indicó anteriormente, no son consumidas con tanta frecuencia dentro de las poblaciones de estudio, observación que se aprecia claramente en la Tabla 6, en comparación con el consumo de pescado.

Tabla 6 Frecuencia del consumo de tipos de carne (por semana)

Alimento	N°	Media	IC
Pescado	307	17,2	0 - 21
Carne Doméstica	307	2,1	0 - 7
Carne de Monte	307	1,0	0 - 7

Los tres tipos de pescados más consumidos son Piraña (*Serrasalmus sp.* carnívoro) con un 56%, le siguen Bentón (*Hoplias malabaricus* piscívoro) 28,76% y el Surubi (*Pseudoplatystoma fasciatum* piscívoro) 24,33%.

Otros pescados que se consumen con más frecuencia son; Tucunaré (*Cichla monoculus*), Pintado (*Pseudoplatystoma fasciatum*), Yacunda, Pacú (*colossoma macropomum*), Piao (*Schizodon fasciatum*) y Matrinchan (*Brycon sp.*)

En cuanto a la frecuencia de consumo de pescado por poblaciones, podemos observar que las poblaciones pertenecientes al río Iténez son las que consumen el pescado con mayor frecuencia, al contrario de las comunidades que pertenecen a otros ríos.

Tabla 7 Frecuencia del consumo de pescado (por semana)

Población	Nº	Media	IC
Remanso	118	18,0	17 - 18
Mategua	34	19,0	17 - 20
Versalles	49	20,1	19 - 21
Piso Firme	54	13,5	12 - 15
Nueva Brema	47	17,0	15 - 18

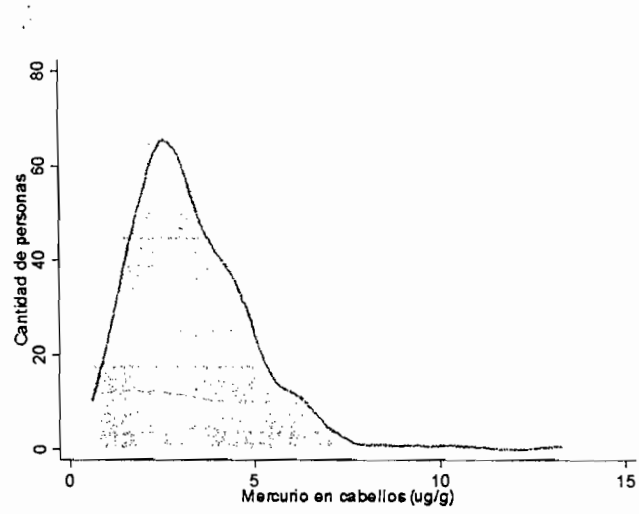
K.4. MERCURIO EN CABELLOS

La media aritmética de la concentración de mercurio total en cabello es de 3,30 $\mu\text{g/g}$ con un intervalo de confianza de 3,11 a 3,49. Para poder obtener una mejor distribución de nuestros resultados se excluyeron a 5 resultados del estudio que presentaban una concentración de mercurio en cabello menor a 0,6 $\mu\text{g/g}$. Los valores excluidos no representan ningún riesgo de salud y por tanto interés en el marco de la búsqueda de los factores de riesgo de exposición.

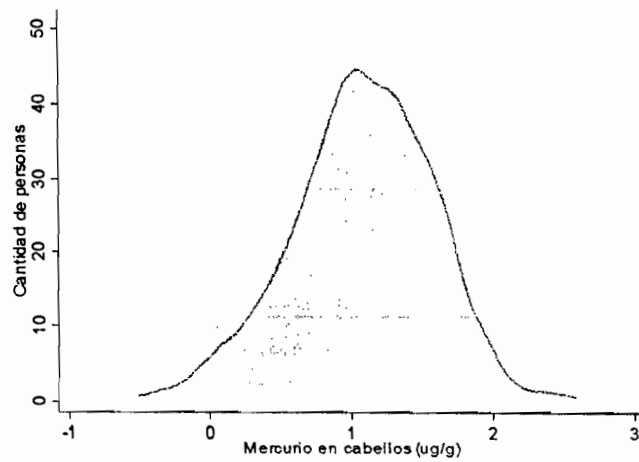
Gracias a estas exclusiones pudimos observar una distribución log normal, que justifica la utilización de una transformación a logaritmo decimal \log_{10} para la consecuencia de los análisis estadísticos, como se puede observar en la (Figura 5). El \log_{10} se utilizó en todos los análisis univariados y multivariados.

Para el análisis de los resultados, por lo explicado anteriormente, se utilizó la media geométrica del mercurio en cabellos, de 2,98 $\mu\text{g/g}$.

Figura 6 Histograma y media general de la población de estudio



Escala Normal

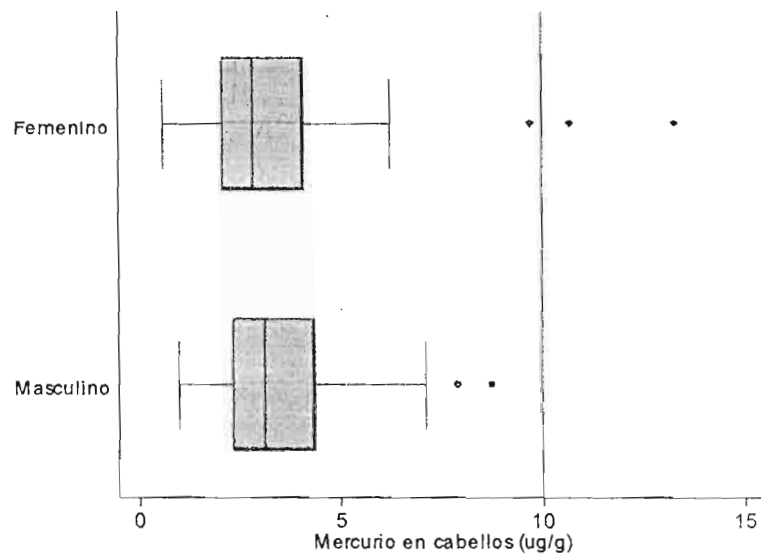


Escala logarítmica

K.5. RELACIÓN DEL MERCURIO CON LAS VARIABLES DE LA POBLACIÓN

Se utilizó la T- de Student, para verificar si existía alguna diferencia significativa en las concentraciones de mercurio en cabellos entre mujeres y varones. La media en mujeres es de 2,82 $\mu\text{g/g}$ y la media en varones es de 3,07 $\mu\text{g/g}$, resultados que no son estadísticamente significativos ($p= 0,13$) (tabla 8).

Figura 7 Relación del mercurio y género



No se encontró ninguna relación entre las concentraciones de mercurio en cabellos y la edad, como lo muestra la nube de puntos (*scatterplot*) de la (figura 7). La búsqueda de una correlación en el tests aplicado de regresión lineal da un $r^2 = 0,008$ y un ($p=0,63$), que prueba la ausencia de relación entre ambas. Esta observación se confirma al agrupar la variable edad en tres categorías (< 15 , $16-45$, >45), con un ANOVA ($p= 0,63$) (figura 8).

Figura 8 Relación del mercurio y edad (*Scatterplot*)

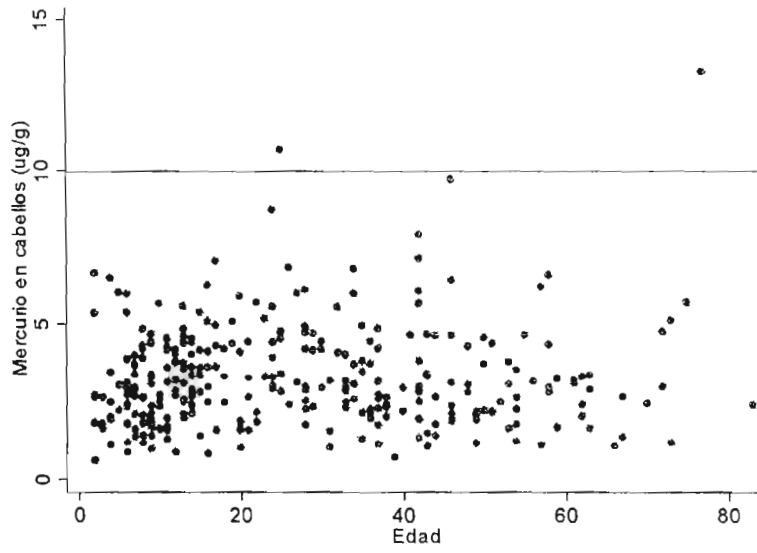
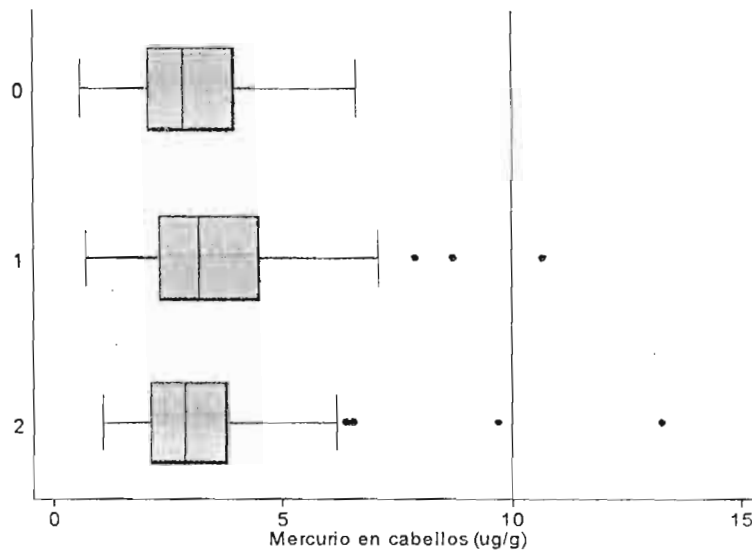


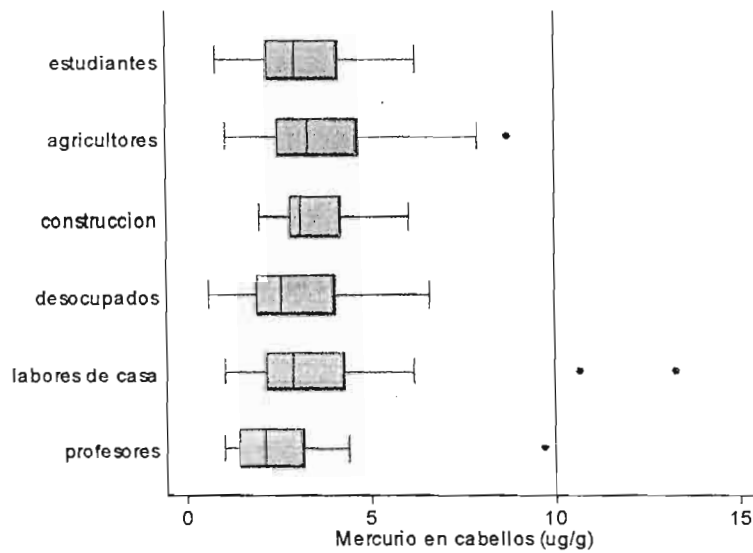
Figura 9 Relación del mercurio y grupos de edad



ra ver la relación de la ocupación con el mercurio, utilizamos el ANOVA después de verificar la homogeneidad de las varianzas con el test de Bartlett's ($p=0,18$), donde servamos un resultado estadísticamente significativo ($p= 0,005$).

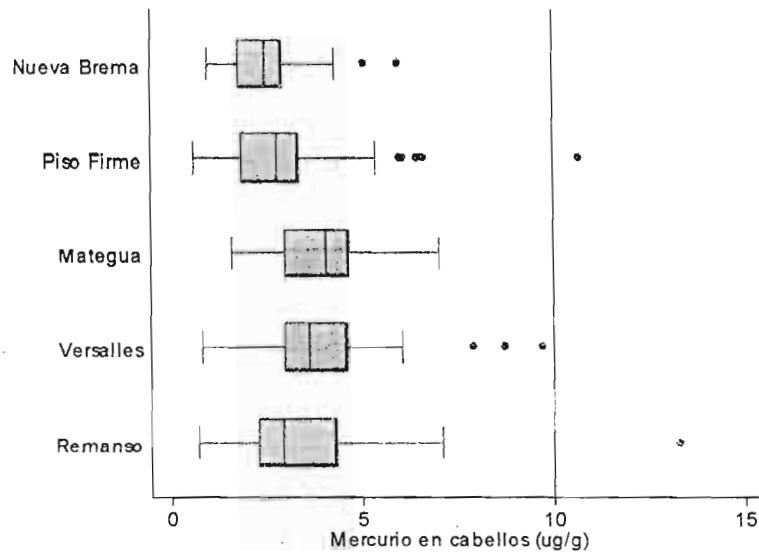
tos resultados muestran que existe una relación entre la ocupación y el mercurio, dada r los profesores, que muestran los valores más bajos en comparación con las otras ocupaciones (figura 9).

Figura 10 Relación del mercurio y la ocupación



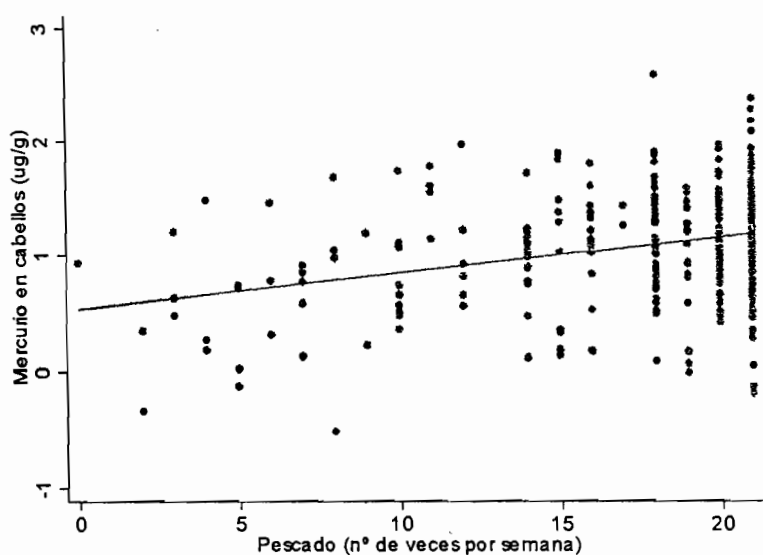
a la relación del mercurio con los pueblos, utilizamos el test el test de Bartlett's ($p=$ l) que muestra varianzas heterogéneas, por esta razón se utiliza el test de Kruskal-lis (test no paramétrico) con un valor de ($p=0,001$) altamente significativo, diferencias se observan en las comunidades de estudio (figura 10).

Figura 11 Relación del mercurio y los pueblos



Utilizamos la regresión para observar la relación entre el pescado y el mercurio, que con un valor de ($r^2=0,08$) y un valor de ($p=0,000$) altamente significativo, se demuestra que, a mayor consumo de pescado, existe mayor cantidad de mercurio, tal como se ve en el gráfico (figura 11).

Figura 12 Relación del mercurio y la frecuencia del consumo de pescado



La relación de la frecuencia de consumo de pescado por pueblo utilizamos, mostró varianzas heterogéneas por el test de Bartlett's ($p=0,000$), por lo que utilizamos el test no paramétrico Kruskal - Wallis. Donde se observó, que los pueblos que consumen pescado con menos frecuencia son Piso Firme y Nueva Brema seguido de Remanso, esto se ve reflejado en la cantidad de mercurio encontrado en cada pueblo (figura 10).

Tabla 8 Relación del mercurio con las variables de la población

Factor de Riesgo	Nº	Media	IC	Valor de P
Género				
Femenino	161	2,82	2,61 – 3,05	0,93
Masculino	141	3,07	2,84 – 3,33	
Edad (años)				
< - 15	118	2,77	2,51 – 3,01	0,63
16-45	126	3,14	2,87 – 3,43	
45- >	58	2,87	2,24 – 2,92	

Ocupación				
Estudiantes	103	2,85	2,61 – 3,11	0,05
Amas de casa	91	2,99	2,71 – 3,31	
Agricultores	58	3,42	3,02 – 3,88	
Profesores	23	2,19	1,73 – 2,77	
Desocupados	16	2,56	1,78 – 3,68	
Construcción	11	3,34	2,63 – 4,24	
Consumo de pescado				
< 14	62	2,29	2,01 – 2,62	0,00
15 >	240	3,13	2,95 – 3,32	
Pueblo				
Nueva Brema	47	2,30	2,03 – 2,60	0,00
Piso Firme	54	2,58	2,23 – 2,99	
Remanso	118	2,98	2,72 – 3,26	
Versalles	49	3,51	3,07 – 4,02	
Mategua	34	3,73	3,32 – 4,19	

Los resultados del análisis muestran que existe relación entre la cantidad de Hg encontrado en las comunidades y el consumo de pescado, esto quiere decir que cuanto mayor sea el consumo de pescado existe la probabilidad de que la cantidad de Hg vaya en aumento, con un Odds Ratio de (OR) 4,65 altamente significativo ($p = <0,001$) en personas que consumen pescado más de 14 veces por semana.

Estos test demuestran que existe una diferencia de la cantidad de mercurio, entre los pueblos que pertenecen al río Iténez de los que no.

La relación entre la cantidad de Hg de las comunidades comparadas por población, muestran que existe una diferencia entre las del río Iténez con (OR) elevados para estas tres poblaciones, especialmente Mategua (tabla 9). Esta relación revela que existe mayor

probabilidad de tener niveles más altos de Hg en el río Iténez en comparación a los otros ríos.

La única ocupación que mostró alguna diferencia en las concentraciones de mercurio en cabellos, fueron los profesores ($p=0,01$), y un (OR) protector (tabla9).

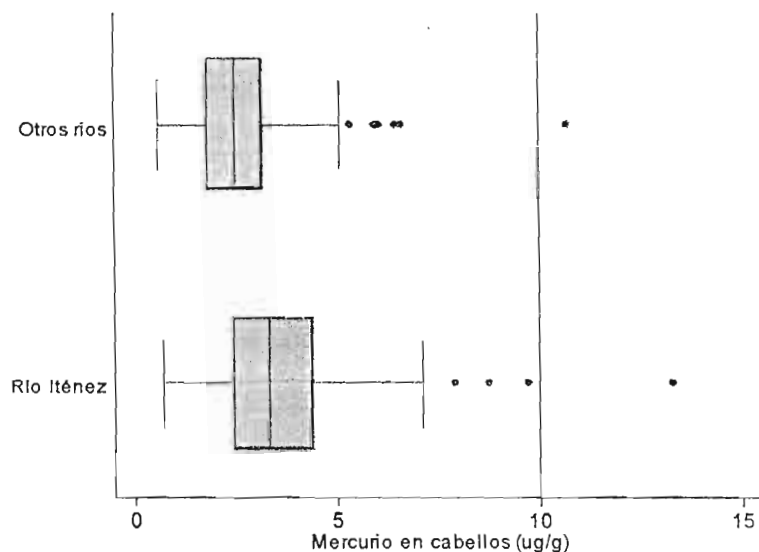
Tabla 9 Análisis Univariado- Factores asociados a la presencia de una concentración de mercurio perteneciente a los percentiles 60 - 100

Factor de Riesgo	OR	IC	Valor de P
Pescado			
< 14 (ref.)			
>14	4,65	2,24 - 9,65	<0,001
Poblaciones			
Nueva Brema (ref.)			
Piso Firme	2,64	0,94 - 7,43	0,07
Remanso	5,18	2,08 - 12,88	<0,001
Versalles	11,22	3,82 - 32,95	<0,001
Mategua	18,28	5,10 - 65,53	<0,001
Ocupación			
Estudiantes (ref.)			
Labores de casa	0,93	0,49 - 1,74	0,82
Agricultores	1,37	0,66 - 2,82	0,39
Profesores	0,19	0,05 - 0,74	0,01
Desocupados	0,69	0,22 - 2,18	0,53
Construcción	1,86	0,82 - 10,81	0,48

Luego del análisis univariado, se aplicó una estrategia *backwards* para las variables significativas al análisis multivariado. Las que permanecieron significativas aplicando un modelo de regresión logística, fueron la frecuencia del consumo de pescado y los pueblos, con respecto a la concentración de mercurio en cabellos.

Dentro del análisis multivariado pudimos observar que existe una relación significativa entre las personas que consumen pescado más de 14 veces en poblaciones del río Iténez, con (OR) de 3,48 y 3,45 altamente significativo ($p < 0,001$) con relación al mercurio total encontrado.

Figura 13 Relación del mercurio y los ríos



Este resultado, muestra un modelo muy simple, que toma en cuenta dos variables, que demuestran una mayor probabilidad de tener mayor cantidad de mercurio, cuanto mayor sea el consumo de pescado o al lugar donde pertenezcan, independientemente del resultado de la otra variable.

Tabla 10 Análisis multivariado- factores que guardan una relación estadísticamente significativa después de ajustar a un modelo logístico

Factor de Riesgo	OR	IC	Valor de P
Pescado < 14 (ref.)			
Pescado > 14	3,48	1,62 – 7,44	0,001
No Iténez (ref.)			
Iténez	3,45	1,88 – 6,33	< 0,001

L. DISCUSIÓN

Las comunidades de estudio están localizadas en riberas de tres ríos amazónicos, el río Iténez, el Paraguá y el Blanco. Por condiciones socioeconómicas, sociodemográficas, y ubicación geográfica, la mayoría de las comunidades basan toda su actividad económica en actividades generalmente de esfuerzo físico (pesca, caza, construcción, etc.).

Dentro de los muchos estudios realizados, pudimos observar que los niveles encontrados ($2.98 \mu\text{g/g}$) son superiores a los que presentan poblaciones de países no contaminados, donde los valores de mercurio en cabello son inferiores a $1 \mu\text{g/g}$ (USA $0,3 - 1 \mu\text{g/g}$ NCR 2002) Sin embargo estos mismos valores, se encuentran muy por debajo del NOEL manejado por la mayoría de los investigadores ($10 \mu\text{g/g}$) (EPA 2002) en regiones contaminadas, como el caso de la Amazonía brasileña donde los niveles de mercurio en cabello tienden a ser mucho más elevados. Valores de mercurio en cabellos que se presentan a continuación, de estudios de la Amazonía brasileña; Tapajós $25,3 \mu\text{g/g}$ (Pinheiro et al. 2000), Negro $20 \mu\text{g/g}$ (Barbosa et al. 2001), Madeira $15,2 \mu\text{g/g}$ (Bastos et al. 2006).

Género y edad, no mostraron significancia alguna, con relación al mercurio en cabellos. Sin embargo, cabe resaltar que la población de Remanso es un tanto mayor en comparación con las otras. Esto debido posiblemente a la cercanía del cerro San Simón, mayor cantidad de habitantes, mayor accesibilidad a caminos interdepartamentales y por tanto suponemos que mayor migración de sus pobladores jóvenes.

En cuanto a los resultados de los hábitos alimenticios, pudimos observar que a menor accesibilidad geográfica mayor es la frecuencia del consumo del pescado. Esto se ve reflejado en las comunidades más pequeñas del estudio y su frecuencia de consumo por semana (Mategua = 19 y Versalles = 20,1 veces por semana), misma conclusión que se planteó en el estudio de Bénéfice et al. (2008).

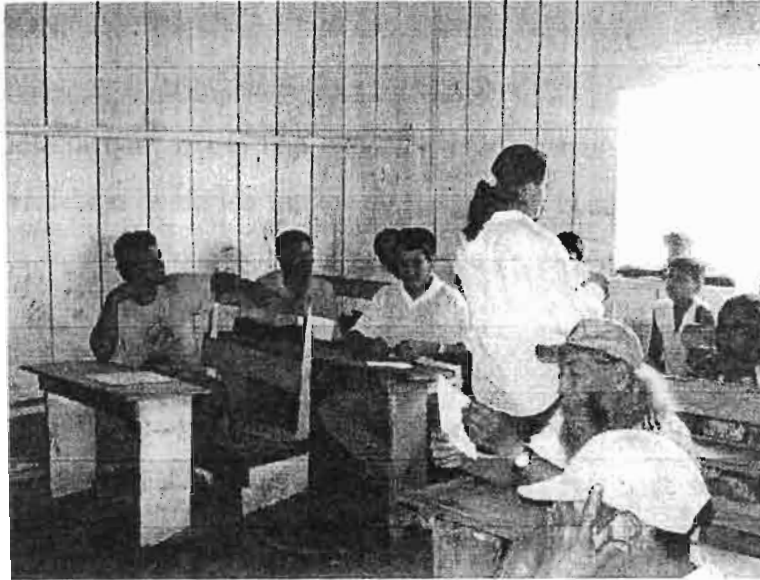
La relación de la concentración de mercurio en cabellos con la cantidad de pescado que consumen por semana, dieron una significancia importante. Al igual que en otros estudios, (Guimarães et al. 1999, Santos et al. 2002, Tavares et al. 2005), podemos observar que esta relación es directamente proporcional.

Existe una diferencia significativa en la exposición al mercurio entre las diferentes poblaciones. Estos mismos resultados, son observados, cuando las poblaciones son agrupadas por ríos con un OR de 3,45. Al igual que otros estudios, se puede observar que las poblaciones expuestas a contaminantes mineros, presentan mayor vulnerabilidad al metilmercurio. Resultados en peces, dentro la misma región, muestran una relación similar, donde los grupos tróficos de herbívoros, piscívoros y zooplanktívoros tienen mayores concentraciones de mercurio en el río Iténez, en comparación con los otros ríos (Pouilly et al. 2008).

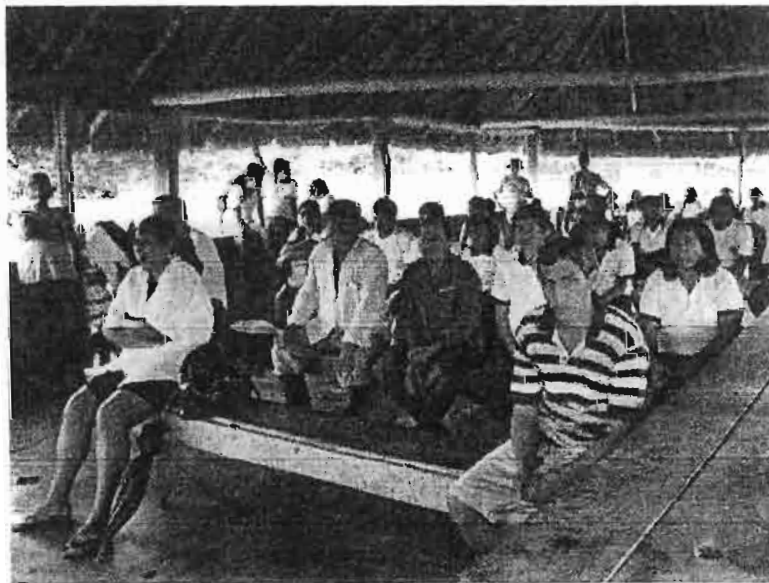
Respecto a la ocupación, los profesores parecen estar menos expuestos al mercurio que los demás. Por otra parte, es necesario recordar que existe un mayor número de profesores en la comunidad de Remanso, donde la población tiene acceso a una mayor diversificación alimenticia.

La razón por la que no se consideró una categoría especial de pescadores, se debe a que estas poblaciones, por sus condiciones geográficas, y número de habitantes, tienen muy poca accesibilidad a otras locaciones y sus recursos. Por tal motivo se observó que todos los integrantes de las familias, tienen cierto grado de participación en la pesca, para su alimentación diaria. Al contrario de otros estudios (Lebel et al. 1997, y 1998; Guimarães et al. 1999; Harada et al. 2001), donde los pescadores tenían mayores concentraciones de mercurio y donde las características de la población eran un tanto diferentes.

Figura 14 Entrega de los resultados



Entrega de los resultados



Explicación de los resultados

M. CONCLUSIÓN.

Los resultados muestran que existe una exposición al mercurio, pero estos niveles se encuentran muy por debajo de los límites de riesgo para la salud con un promedio de 2,98 $\mu\text{g/g}$, teniendo en cuenta que el límite permisible de mercurio en cabellos es de 10 $\mu\text{g/g}$.

La comparación entre los ríos Iténez, Blanco y Paraguá, reveló que el primero presenta niveles de Hg un poco más elevados que los otros dos ríos, esto hace suponer que puede existir algún tipo de relación entre los ingenios mineros y los niveles de contaminación. Sin embargo, no se puede descartar, que la zona del río Iténez presenta actividad antrópica mucho mayor, que las otras dos zonas de estudio (Pouilly et al. 2008).

El pescado y su frecuencia de consumo están fuertemente relacionados con las cantidades de metilmercurio. El tejido muscular de los peces tiene gran afinidad por este metal, pero también es fuente principal de nutrientes, beneficiosos para la salud.

Los peces son el principal alimento de estas poblaciones, fuente importante de Omega 3, grasas poliinsaturadas y selenio (Dorea 2003), que no tienen sustituto. Es por esta razón que es muy difícil realizar algún tipo de prohibición.

Bénéfice et al. (2009) señalan en su estudio, en la región del alto Beni, que los niños con un mejor desarrollo antropométrico (mayor frecuencia de consumo de pescado), también presentaban concentraciones de mercurio más elevadas. Estos resultados, plantean de manera perfecta el dilema de efectos beneficiosos del consumo de pescado, versus la contaminación.

A pesar de encontrar datos en diferentes regiones (Islas Feroe, Nueva Zelanda, Seychelles), donde sugieren que el metilmercurio produce daños neurológicos, los estudios realizados en la Amazonía brasilera, tienen contradicciones de opinión entre diferentes investigadores,

especialmente en temas relacionados a niños expuestos a metilmercurio a dosis muy bajas (Dorea et al. 2004; Passos & Mergler 2008). Tratar de reducir la exposición al metilmercurio, equivaldría a reducir su única fuente de proteínas, que es una estrategia de sobrevivencia, y el cambio de hábitos alimenticios no se considera justificable.

El estudio de Bénéfice 2008, en la Amazonía boliviana muestra que a pesar de que ciertas poblaciones se encuentran expuestas al metilmercurio, las afecciones más importantes, son las enfermedades prevalentes, como la malnutrición, anemia, etc., características del contexto en el que se desenvuelven estas poblaciones, muy similares a las poblaciones de nuestro estudio.

Medidas preventivas para estas regiones, deberán ser muy planeadas, por el impacto en salud que pudiera tener esta medida. Niveles educativos, calidad de la alimentación al alcance de todos, pobreza, son factores que deberán tomarse muy en cuenta para poder realizar cualquier medida de prevención ó intervención.

La restricción de pescado como alimento principal y fuente de nutrientes en la Amazonía boliviana, trae consigo un gran riesgo e implicaciones nutricionales, por el impacto en la salud.

En conclusión, podemos citar que los niveles de metilmercurio encontrados en las comunidades de estudio no representan peligro inmediato en la salud de la población, aunque no se debe descartar la posibilidad de que en un futuro por mayor actividad (minera o deforestación, erosión de los suelos y otros) la exposición aumente, con consecuencias para la salud de los pobladores

N. ÉTICA

Cada participante tuvo información básica sobre el tema de investigación. Asimismo fueron solamente incluidos aquellos que decidieron participar de manera voluntaria, previo consentimiento informado firmado por el participante o por sus padres o tutores legales (Anexo Modelo de consentimiento informado).

Dentro de la confidencialidad de los participantes, los datos fueron introducidos en una base de datos informática llenada según un código, a fin de garantizar el anonimato. Una copia de la información será conservada en un lugar diferente al lugar de análisis de los resultados.

Tanto el código como los cuestionarios que permiten vincular los datos informáticos a la identidad de las personas, fueron conservados en dos lugares distintos. No habrá ninguna conexión posible entre el banco de datos computarizado y los cuestionarios. Los datos crudos no fueron comunicados a personas ajenas al proyecto, incluyendo los otros científicos. Sólo los datos sintetizados (tablas y figuras) serán comunicados. Exclusivamente los integrantes del proyecto tuvieron acceso al banco de datos, bajo la estrecha supervisión del responsable y de su asistente. Los cuestionarios fueron guardados en un estante metálico cerrado con llave, en posesión del responsable del proyecto y de su asistente. Las formas de consentimiento informado firmado por el participante o su tutor serán guardadas en un archivo distinto a los cuestionarios y guardadas en un estante cerrado con llave.

Este estudio fue evaluado previamente por el Comité de Bioética de Bolivia para su aprobación (Anexo copia de aprobación).

Al término del estudio, los resultados globales fueron explicados a la población en una reunión pública, mientras que el resultado específico de cada participante fué entregado en forma privada a cada uno, con la respectiva explicación. En esta oportunidad, se dieron consejos sobre el tema.

O. BIBLIOGRAFÍA

Barbieri Flavia Laura, Courmil Amandine, Gardon Jacques. Mercury exposure in a high fish eating Bolivian Amazonian population with intense small-scale gold-mining activities. *International Journal of Environmental Health Research* Vol. 19, No. 4, August 2009, 267–277

Barbosa A, Garcia A, de Souza JR, Mercury contamination in hair of riverine populations of Apiacás reserve in the Brazilian Amazon 1997; 1-8

Barbosa A, Jardim W, Dorea JG, Fosberg B, Souza J. Hair mercury speciation as a function of gender, age, and body mass index in inhabitants of the Negro River basin, Amazon, Brazil. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2001; 40(3):439-44.

Bastos W, Gomes JP, Oliveira R, Almeida R, Nascimento EL, Bernardi JV, de Lacerda L, da Silveira EG, Pfeiffer WC. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment* 2006; 368:344-351.

Batista, J., Schuhmacher, M., Domingo, J.L. & Corbella, J. (1996) Mercury in hair for a child population from Tarragona Province, Spain. *Sci. Total Environ.*, 193,143–148

Bellinger D. Contaminants Methylmercury JECFA 2004; 237-245

Benefice Eric, Monroy Selma J. Luna, Lopez Rodriguez Ronald W. A nutritional dilemma: fish consumption, mercury exposure and growth of children in Amazonian Bolivia, *Epidemiology and Prevention*, Online Publication 2008

Berglund M, Lind B, Bjornberg KA, Palm B, Einarsson O, Vahter M. Inter-individual variations of human mercury exposure biomarkers: a cross-sectional assessment. *Environ Health* 2005; 3:4-20.

Canno SE. Toxicología del mercurio, actuaciones preventivas en sanidad ambiental y laboral 2001; 1-66.

Clarkson TC, Magos L, Myers GJ. *The Toxicology of Mercury — Current Exposures and Clinical Manifestations* 2003; 1731-1737

Cordier S, Garel M, Mandereau L, Morcel H, Doineau P, Gosme-Seguret S, Josse D, White R, Amiel-Tison C. Neurodevelopmental investigations among methylmercury-exposed children in French Guiana. *Environ Res.* 2002; 89(1):1-11.

Davidson PW, Palumbo D, Myers GJ, Cox C, Shamlaye CF, Sloane-Reeves J, Cernichiari E, Wilding GE, Clarkson TW. Neurodevelopmental outcomes of Seychellois children from the pilot cohort at 108 months following prenatal exposure to methylmercury from a maternal fish diet. *Environ Res.* 2000; 84(1):1-11.

Debes Frodi, Budtz-Jørgensen Esben, Pal Weihea, Roberta F. Whited, and Philippe Grandjeanc. Impact of prenatal methylmercury exposure on neurobehavioral function at age 14 years *Neurotoxicol Teratol.* 2006; 28(3): 363–375.

Doadrio Villajero. Ecotoxicología y acción toxicológica del mercurio; *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, ISSN 0034-0618, 2004, 933-9591-25

Dolbec J, Mergler D, Larribe F, Roulet M, Lebel J, Lucotte M. Sequential analysis of hair mercury levels in relation to fish diet of an Amazonian population, Brazil. *Sci Total Environ.* 2001 23;271(1-3):87-97.

Dolbec J, Mergler D, Sousa Passos CJ, Sousa de Morais S, Lebel J. Methylmercury exposure affects motor performance of a riverine population of the Tapajos river, Brazilian Amazon. *Int Arch Occup.* 2000 ;73(3):195-203.

Dorea JG. Cassava cyanogens and fishmercury are highbut safely consumed in the diet of native Amazonians. *Environmental Research* 92 (2003) 232–244

Dorea JG. Fish are central in the diet of Amazonian riparians: should we worry about their mercury concentrations?. *Environmental Research* 92 (2003) 232–244

Environmental Protection Agency. Water Quality Criterion for the Protection of Human Health: Methylmercury Final Office of Science and Technology Office of Water U.S Washington, DC 20460..epa january 2005

Fillion Myriam, Mergler Donna, Sousa Passos Carlos Josse, Larribe Fabrice, Lemire Melanié, and Davée Guimarães Jean Remy. A preliminary study of mercury exposure and blood pressure in the Brazilian Amazon. *Environ Health.* 2007; 5: 29.

Grandjean P, White RF, Nielsen A, Cleary D, Santos EC. Methylmercury neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining. *Environ Health Perspect* 1999; 107(7):587-91.

Grandjean P, White RF, Sullivan K, Debes F, Murata K, Otto DA, Weihe P. Impact of contrast sensitivity performance on visually presented neurobehavioral tests in mercuryexposed children. *Neurotoxicol Teratol* 2001; 23(2):141-6.

Grandjean, Philippe MD, PhD*‡; White, Roberta F. PhD*‡; Weihe, Pal MD*§; Jørgensen, Manuscript to be published in *Ambulatory Pediatrics Neurotoxic Risk Caused by Stable and Variable Exposure to Methylmercury from Seafood Poul* -2003

Guallar E, Sanz-Gallardo, van't Veer P, Bode P, Aro A, Gómez J, Kark J, Riemersma RA, Moreno JM, Kok FJ. Mercury, Fish Oils, and the Risk of Myocardial Infarction, 2002; 347:1747-1754

Guimarães JR, Fostier AH, Forti MC, Melfi JA, Kehrig H, Narvaez JB, Malm O, Krug JF. Mercury in Human and Environmental Samples from Two Lakes in Amapá, Brazilian Amazon. *Ambio* 1999; 28 (4):296-301.

Harada Masazumi, Nakanishib Junko, Yasodab Eiichi, da Conceição N., Pinheiroc Maria, Oikawac Teiichi, Guimaraes Geraldo de Assis, Cardoso Bernardo da Silva, Izakid Takako, Ohnod Hideki. Mercury pollution in the Tapajos River basin, Amazon Mercury level of head hair and health effects* *Environment International* 27 (2001) 285-290

Hacon S, Yokoo E, Valente J, Campos RC, da Silva VA, de Menezes AC, de Moraes LP, Ignotti E. Exposure to mercury in pregnant women from Alta Floresta-Amazon basin, Brazil. *Environ Res* 2000; 84(3):204-10.

Ismael Montes de Oca *Encyclopedia geografica de Bolivia*; 2005; 2ª edición

Kazuko Yoshizawa, Sc.D., Ericb. Rimm, Sc.D., J. Stevenmorris, Ph.D., Vickiel. Spate, Chung-Chenghsieh, Sc.D., Donnaspiegelman, Sc.D., Meirj. Stampfer, M.D., Andwalterc. Willett, M.D. Mercury And The Risk Of Coronary Heart Disease In Men. *New England Journal of Medicine*, Vol. 347, No. 22, November 28, 2002

Kjellstrom, T., Kennedy, P., Wallis, S. and Mantell, C. (1986): Physical And Mental Development Of Children With Prenatal Exposure To Mercury From Fish. Stage 1: Preliminary tests at age 4. Report 3080, National Swedish Environmental Protection Board, 1986.

Lebel,* Donna Mergler,* Fernando Branches,- Marc Lucotte, à Marucia Amorim, Fabrice Larribe,* and Julie Dolbec* Neurotoxic Effects of Low-Level Methylmercury

Contamination in the Amazonian Basin. Environmental Research, section a 79, 20832 (1998)

Lebel J, Roulet M, Lucotte M, Larribe F. Fish diet and mercury exposure in a riparian Amazonian population. Water Air Soil Pollut 1997; 97:31-44.

Malm O, Guimarães JRD, Castro MB, Bastos WR, Viana JP, Branches FJP, Silveira EG, Follow-up on mercury levels in fish, human hair and urine in the Madeira and Tapajos basins, Amazon Brazil. Water, Air and Soil Pollution 97: 45-51, 1997.

Maurice-Bourgoin, U, Irma Quiroga, Jaime Chincheros, Philippe Couraud Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations The Science of the Total Environment 2000. 73-86

Maurice-Bourgoin & Irma Quiroga. Total Mercury Distribution And Importance Of The Biomagnification Process In Rivers Of The Bolivian Amazon The Ecohydrology of South American Rivers and Wetlands. IAHS Special Publication no. 6, 2002.

Myers, G., Davidson, P., Palumbo, C., Shamlaye, C., Cox, C., Chernichiari, E. and Clarkson, T. (2000): Secondary analysis from the Seychelles child development study: the child behavior checklist. Environmental Research, Section A, 2000; 84: 12-19.

Monrroy SL, Lopez M.Sc.Ronald Wily, Roulet M.Sc.Marc, Benefice Ph.D.Eric, M.D., Ph.D. Lifestyle and Mercury Contamination of Amerindian Populations along the Beni River (Lowland Bolivia). Journal of Environmental Health 44-50, Volume 71 • Number 4 November 2008 •

National Research Council. Toxicological Effects of Methylmercury. Washington, DC. 2000.

Oka T, Matsukura M, Okamoto M, Harada N, Kitano T, Miike T, Futatsuka M. Autonomic nervous functions in fetal type Minamata disease patients: assessment of heart rate variability. *Tohoku J Exp Med.* 2002; 198(4):215-21.

Olivero J, Johnson B, Arguello E. Human exposure to mercury in San Jorge river basin, Colombia (South America). *Sci Total Environ.* 2002; 289(1-3):41-7.

Organización Internacional del Trabajo (OIT). Estudio monográfico sobre la explotación minera pequeña 2000; 1-15.

Passos J. S., Mergle Donna. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review *Exposição humana ao mercúrio e efeitos adversos à saúde na Amazônia: Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro, 24 Sup 4:S503-S520, 2008*

Pellizzari, E.D., Fernando, R., Cramer, G.M., Meaburn, G.M. & Bangerter, K. (1999) Analysis of mercury in hair of Region V population. *J. Exp. Anal. Environ. Epidemiol.*, 9, 393-401.

Pesch, A., Wilhelm, M., Rostek, U., Schmitz, N., Weishoff-Houben, M., Ranft, U., & Idel, H. (2002) Mercury concentrations in urine, scalp hair, and saliva in children from Germany. *J. Exp. Anal. Environ. Epidemiol.*, 12,252-258

Pfeiffer WC. Follow-up of mercury levels in fish, human hair and urine in the Madeira and Tapajós basins, Amazon, Brazil. *Water, Air and Soil Pollution* 1997; 97:45-51.

Piantone Patrice. *Geoscience ;Mercure naturel et Sante*; 2007; 5: 47-50.

Pinheiro M, Nakanishi J, Oikawa T, Guimaraes G, Quaresma M, Cardoso B, Amoras WW, Harada M, Magno C, Vieira JL, Xavier MB, Bacelar DR. Methylmercury human exposure in riverside villages of Tapajós basin, Para State, Brazil. *Rev Soc Bras Med Trop.* 2000;33(3):265-9.Portuguese.

Pinheiro MC, Muller RC, Sarkis JE, Vieira JL, Oikawa T, Gomes MS, Guimaraes , do Nascimento JL, Silveira LC. Mercury and selenium concentrations in hair samples of women in fertile age from Amazon riverside communities. *Sci Total Environ* 2005; 349(1-3):284-8.

Pouilly M., T.Pérez, A. Ovando, F. Guzmán, J.L. Duprey & P. Paco 2008. Diagnóstico de la contaminación por el mercurio en la cuenca Iténez. Informe IRD-WWF, La Paz, Bolivia. pp. 50-77

Programa De Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente PNUMA. Productos Químicos Evaluación Mundial Sobre El Mercurio Publicado por el Productos Químicos Ginebra, Suiza. Junio 2005

Roulet, M. Lucotte, R. Canuel, and N. Farella Y. G. De Freitas Goch and J. R. Pacheco Peleja J.-R. D. Guimaraes D. Mergler. Spatio-temporal geochemistry of mercury in waters of the Tapajo's and Amazon rivers, Brazil. *Geochemistry of Hg in Brazilian rivers*, 46(5), 2001, 1141-1157

Roulet, J.-R. D. Guimarães And M. Lucotte. Methylmercury Production And Accumulation In Sediments And Soils Of An Amazonian Floodplain – Effect Of Seasonal Inundation. *Water, Air, and Soil Pollution* 128: 41-60, 2001.

Santos ECO, Câmara M, Jesús M, Barvo S, Loureiro B, Fayal F, Filho G, Sagica G. A Contribution to the Establishment of Reference Values for total mercury levels in Hair and Fish in Amazonia. 2002; 90; 6-11.

Saviuc P, Fouilhé N. Méthilmercure et Consommation de Poissons. Effets - VTRs - Impact. Grenoble. 2004.

Smith, J.C., Allen, P.V. & Von Burg, R. (1997) Hair methylmercury levels in U.S. women. *Arch. Environ. Health*, **52**, 476–480.

Soares de Campos M, Souza J, Céli R, da Silva E, de Oliveira E. Correlation between mercury and selenium concentrations in Indian hair from Rondonia State, Amazon region, Brazil. 2002; 155-161.

Tavares LM, Camara VM, Malm O, Santos EC. Performance on neurological development tests by riverine children with moderate mercury exposure in Amazonia, Brazil. *Cad Saude Publica*. 2005 ;21(4):1160-7. Epub 2005

Watras CJ, Back RC, Halvorsen S, Hudson RJ, Morrison KA, Wentz SP. Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. *Sci Total Environ*. 1998 Aug 28;219(2-3):183-208.

WHO/IPCS Methylmercury. World Health Organisation, International Programme on Chemical Safety (IPCS). Environmental Health Criteria Geneva, Switzerland, 1990

ANEXOS

MODELO DE HOJA DE INFORMACIÓN

Señor (a):

Somos médicos Investigadores que trabajamos en la Universidad de La Paz UMSA (Universidad Mayor de San Andrés), en el Instituto de Servicio de Laboratorios para el Diagnóstico e Investigación en Salud (SELADIS) de la Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Bioquímicas y en el Instituto de Investigación para el Desarrollo-Francia (IRD), estudiando los problemas de salud de las poblaciones del río Iténez.

En algunos casos, el ambiente y las comidas pueden causar valores altos de mercurio en nuestro cuerpo. Esto puede traer problemas en nuestra salud, porque nuestro cuerpo podría disminuir sus defensas contra las enfermedades.

[Nombre de la Población] es un lugar particular, pues por muchas razones, pensamos que puede haber una cantidad de mercurio en el ambiente, que podría traer problemas a la salud de la población.

Para poder saber si esto es verdad, necesitamos de su ayuda, lo que es muy fácil y no tiene ningún peligro para su salud ni para ningún miembro de su familia. Sólo necesitamos cortar un pequeño mechón de su cabello *[y/o de su hijo(a)]*, porque nosotros podemos medir así la cantidad de mercurio que tiene su cuerpo. Si encontramos que usted tiene mucho mercurio, nosotros se lo haremos saber, y también le vamos a dar consejos para que usted pueda bajar esta cantidad de mercurio y mejorar su salud.

Usted sólo va a participar en de nuestro proyecto si usted quiere y/o *[autoriza que su hijo(a) participe]*, en forma voluntaria y sin retribución económica. De cualquier manera, si usted *[y/o su hijo(a)]* deciden ayudarnos, no le costará nada. Este examen no traerá ningún riesgo para usted, para su familia o para su población. Nosotros nos comprometemos a entregarle los resultados del análisis, así como una explicación detallada si usted lo requiere.

Nuestro trabajo fue aprobado por el Comité Nacional de Bioética, que es una institución que decide qué estudios son importantes y seguros para la salud, y también vigila que no se haga daño o se perjudique a la población y a las personas que participan.

En cualquier momento usted o su familia podrán obtener informaciones complementarias con la Doctora Pamela Paco Velasco *[dirección, teléfonos, e-mail]* o con [Nombre de la persona de contacto en la comunidad] con *[dirección, teléfonos, e-mail]*.

Firma del médico
Dra. Pamela Paco Velasco
CI: 4775012 LP

Firma del Investigador Principal
Dr. Jacques Gardon

Lugar y Fecha

MODELO DE HOJA DE ENTREGA DE RESULTADOS

De su consideración:

Como recordará, en agosto del año 2007 realizamos una encuesta en su casa ó en el centro de reuniones de su comunidad, explicándole que somos médicos, trabajamos en la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz y estudiamos los problemas de salud de las poblaciones del río Iténez.

Los resultados generales de la encuesta fueron presentados en una reunión organizada por la Honorable Sub Alcaldía de Remanzo. Sin embargo, los datos personales de su familia son privados y sólo ustedes pueden conocerlos.

Según el análisis que hicimos de los mechones de cabello que tomamos en su casa, podemos ahora informarle lo siguiente:

El señor/señora/señorita/niño(a)....., de años de edad, tiene $\mu\text{g/g}$ de mercurio en los cabellos.

Este valor no representa un riesgo, ya que en otros estudios, se vio que cuando el mercurio se encuentra mayor a $10 \mu\text{g/g}$ en los cabello, algunas personas tenían problemas de salud. Sin embargo, en Remanzo, la cantidad de mercurio en cabellos es mucho más baja que eso, de modo que no hay riesgo de que el mercurio traiga problemas de salud.

Le agradecemos mucho por habernos ayudado a hacer este trabajo, no podríamos haber logrado esto sin su colaboración. Nosotros quedamos a su disposición por si tiene alguna duda o si quiere preguntarnos algo respecto al trabajo que hicimos en Remanzo. En la Sub Alcaldía van a quedar nuestros datos, nuestro teléfono y dirección en La Paz.

Gracias por todo.

Jacques Gardon
Responsable de Investigación
SELADIS-IRD-UMSA.....

Pamela Paco Velasco
Asistente de Investigación

MODELO DE CUESTIONARIO

HÁBITOS ALIMENTICIOS

Sexo: Edad:

Tiempo que habita en la localidad:.....

Lugar de trabajo:..... Ocupación:.....

¿Trabaja o trabajó alguna vez en la explotación de oro? No Si

Frecuencia de consumo:

Alimento	Veces por semana	Veces por mes
Carne doméstica		
Carne de monte		
Pescado		

Nómina de pescados por frecuencia de consumo:

Nombre del pescado	Cantidad de veces por semana

¿Qué pescado prefiere? ¿En qué época come más?