

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1. INTRODUCCIÓN

Las actividades mineras en la zona sur del país, la contaminación que produce y los impactos resultantes han sido tema de constante monitoreo y evaluación en varias ocasiones, así como motivo de varios estudios en áreas con conocidos antecedentes mineros como Ponce Enríquez, Nambija, Portovelo, Zaruma, Santa Rosa<sup>1</sup> y otros, debido a la importancia económica que genera en la población residente y en sus alrededores.

La pequeña minería o minería informal como se la conoce, surge en la zona sur oriente del país a finales de los años 70 debido a la quiebra de grandes compañías extranjeras importantes de capital mixto (CIMA) que explotaban oro en la zona de Zaruma y de Portovelo<sup>2</sup>. Como respuesta a la desocupación originada por la salida de estas empresas, los trabajadores ocupan las antiguas instalaciones y comienzan a explotar artesanalmente el oro. Lo que produjo cierto retroceso en lo que a técnicas de explotación se refiere.

Luego a principios de los años 80 se generan dos nuevas fuentes de minería que fueron Nambija y Ponce Enríquez en los flancos sur occidentales de los Andes. En ambas áreas se da un crecimiento descontrolado de exploración y de explotación, se da también la formación de cooperativas, que a la larga será un beneficio en temas legales para la minería, y luego una caída en la explotación; todo esto debido al elevado precio internacional del oro sumado a la carencia de tierras cultivables que fueron destruidas por el Fenómeno del Niño que afectó a zonas productivas en esos años.

En los años 90 se forman asociaciones mineras que con cierto incremento de capital logra que se de un avance tecnológico moderado, dejando de lado, en parte, la amalgamación con mercurio que se la realizaba normalmente al aire libre, a pesar de que hoy en día sigue siendo utilizada esta técnica en algunos sectores. Se comienza además, con cierto tipo de planificación técnica de explotación, con la presencia de varios ingenieros especializados

---

<sup>1</sup> SANDOVAL Fabián, *La pequeña Minería en el Ecuador*, MMSD, Octubre 2001

<sup>2</sup> PRODEMINCA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998

en minas, así como la modernización de equipos y maquinaria para la trituración y molienda.

Cabe recalcar que la mayoría de estudios realizados en zonas mineras han sido enfocados a la mejora en tecnologías productivas e impactos ambientales y no precisamente al análisis y comprensión de la calidad de vida de los pequeños mineros, es decir, que no se han dado grandes evaluaciones socio-económicas. La preocupación académica por las actividades mineras ha sido escasa y esto puede deberse al poco impacto que tienen estas actividades en la vida social, en las actividades económicas y peor aún en los procesos políticos.

El estado ecuatoriano en años pasados intentaba agrupar las pequeñas organizaciones mineras para convertirlas en minería a mediana o gran escala con el fin de formalizar sus actividades y reducir conflictos y además para poder tener cierto tipo de control de las actividades mineras. Pero hoy en día su propósito es el de determinar, identificar y mitigar los impactos ambientales de actividades mineras a pequeña escala y potenciar el desarrollo económico regional, es decir, reconocer esta actividad legalmente.

En las últimas décadas se han elaborado estudios relacionados con las actividades mineras en varias zonas del país por parte de organismos internacionales que han cooperado con instituciones estatales, así entre los más importantes se puede destacar:

#### Proyecto COSUDE

Es un estudio realizado desde el 13 de abril de 1993 en el que participaron el estado ecuatoriano y el gobierno suizo. El proyecto se llamó “Minimización de las Emisiones de Mercurio en Pequeñas Minas de Oro en el Sur del Ecuador”. Este proyecto constaba de dos etapas:

##### Etapas 1:

- Minimización de las emisiones de mercurio.
- Luego de dos años de trabajo se redefinió el objetivo como: la reducción del impacto ambiental producido por la pequeña minería aurífera de Zaruma-Portovelo en sus etapas de explotación y beneficio mineral<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> SANDOVAL Fabián, *La pequeña Minería en el Ecuador*, MMSD, Octubre 2001

Las Principales actividades de este proyecto fueron:

- Estudios de impacto ambiental.
- **Diagnóstico ambiental de Mercurio**
- Programa de asistencia técnica al pequeño minero
- Diseño, producción y mercadeo del recuperador de mercurio (retorta)
- Elaboración de cartografía al detalle con la UTPL (1:1000)
- Introducción a nuevas tecnologías (Concentrador de Knelson) filtros para gases nitrosos y más.
- Salud Ocupacional (exámenes a 200 personas)
- Estudios Socio-económicos.
- Programa de concientización y educación ambiental
- Difusión y comunicación
- Programa de Comedor Infantil
- Cursos y talleres de Orfebrería

Etapa 2:

- Esta etapa se desarrolló a partir del 2000 con: “Implementación de medidas ambientales en las plantas de beneficio mineral artesanales ubicadas a lo largo del Río Calera/Salado.”<sup>4</sup>

Proyecto PRODEMINCA<sup>5</sup>

De 1995 al 2000 el gobierno del Ecuador ejecutó un proyecto importante que llevaba el nombre de PRODEMINCA (Proyecto de Asistencia Técnica para el Desarrollo Minero y Control Ambiental) que tenía como objetivo general apoyar y lograr un desarrollo sostenible a partir de técnicas que aseguren la protección del medio ambiente. Este proyecto estaba financiado por el Banco Mundial y recibía apoyo técnico de los gobiernos de Suecia y Gran Bretaña y uno de sus componentes estaba enfocado al monitoreo de impactos ambientales y socioeconómicos de la minería.

---

<sup>4</sup> HRUSHKA, F., *Proyecto Minería sin Contaminación en Zaruma-Portovelo*, El Oro –Ecuador, (1995)

<sup>5</sup> PRODEMINCA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998

Un subcomponente estaba a cargo de la Dirección Ambiental Minera de la Dirección Nacional de Protección Ambiental (DAM/DINAPA).

Entre 1995 y 1998 gracias a la asistencia técnica del Swedish Enviromental Systems (SES) se lograron, mediante varios estudios y capacitación, introducir mejoras en la recuperación de oro de entre el 80 y el 90%, además de la implementación de plantas de cianuración de concentrados gravimétricos que operan hoy en día en varios de los sitios de estudio a excepción de Nambija.

Con 3 años de trabajo se lograron modificar todos los reglamentos de la Ley de Minería y además se trabajo en un reordenamiento legal e institucional del sector minero; se capacitó a varios funcionarios de las entidades que participaron en este proyecto; se completo al monitoreo ambiental de los sectores mineros del sur del país, así como se recopilaron una importante cantidad de datos derivados de muestreos para análisis de aguas, sedimentos y biota pero también este proyecto se dedico a la recopilación de información local sobre salud ocupacional; además de la elaboración de varios mapas de cada uno de estos temas para las siguientes zonas de estudio:

- *Área de Ponce Enríquez*
- *Área de Santa Rosa*
- *Área de Portovelo-Zaruma*
- *Área de Nambija*

#### CODIGEM<sup>6</sup>

Cursos de capacitación en las Ferias Mineras en Portovelo gracias a la colaboración de la Corporación de Investigaciones Minero Metalúrgico, organismo vinculado al Ministerio de Energía y Minas y la Cámara de la Pequeña Minería (CAPEMINE).

#### INEMIN<sup>7</sup>

El Instituto Ecuatoriano de Minería organismo vinculado con el MEM diseñó un plan piloto para la utilización de retortas de amalgamación en Nambija, que tuvo una aplicación

---

<sup>6</sup> SANDOVAL Fabián, *La pequeña Minería en el Ecuador*, MMSD, Octubre 2001

<sup>7</sup> *Ibid*

parcial y los resultados no fueron los esperados debido a la dificultad de cambiar los hábitos productivos.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Diagnosticar la contaminación por Mercurio (Hg) en aguas y sedimentos de ríos que reciben efluentes de la minería de oro en los sectores de Nambija, Ponce Enríquez y Portovelo mediante muestreos en los sitios seleccionados.

### **1.2.2. Objetivo específicos**

- Analizar la concentración de mercurio en aguas y sedimentos de ríos en las zonas de estudio y sus efectos.
- Comparar los resultados obtenidos con los datos presentados en el proyecto PRODEMINCA y analizar su relación.
- Determinar las áreas más afectadas por la contaminación por mercurio.
- Elaborar mapas de las concentraciones de mercurio para cada una de las áreas de estudio.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La presencia de mercurio en el ambiente tiene implicaciones importantes por los efectos tóxicos que produce en los seres vivos, ya que es un metal pesado que se acumula en los tejidos blandos y provoca enfermedades irreversibles e incluso la muerte, por eso es importante su estudio, su monitoreo y su tratamiento de ser posible.

El mercurio, en concentraciones que normalmente se dan en el medio ambiente, no es tóxico para las plantas. Sin embargo, concentraciones altas inhiben su desarrollo celular y afectan la permeabilidad. Algunas plantas (papas, zanahorias, plantas acuáticas y hongos) pueden absorber mercurio.

Los peces pueden acumular mercurio, pero el mercurio generalmente no causa la muerte de estos peces y es por eso que los que consumen el pescado, no pueden detectar que está contaminado y lo consumen sin darse cuenta del peligro.

Entonces, al estudiar la repercusión de la contaminación por mercurio en seres vivos, se ha visto la necesidad de estudiar las características ambientales en las que se lo puede encontrar, y por lo tanto es necesario saber las condiciones de aguas y sedimentos de los sitios de estudio con el fin de llevar a cabo un análisis general de la situación ambiental relacionada con al utilización de mercurio. Sin embargo, la contaminación de mercurio es muy difícil de detectar a través de un monitoreo ambiental, ya que las técnicas específicas de análisis son extremadamente difíciles y costosas y sólo pueden ser manejadas por muy pocos laboratorios en el país que son especializados.

La contaminación con mercurio proveniente de la minería es importante debido a que existe gran cantidad de gente que trabaja directamente con el mercurio y que puede llegar a intoxicarse seriamente con el mismo, pero además, la quema de este metal al aire libre, sin las precauciones necesarias, puede llevar a la transformación del mismo y a la afectación no solo de aquellos cercanos al proceso de obtención del oro sino una buena parte del área circundante. Y como la minería es un sector productivo importante en la generación de empleo y de ingresos económicos en las zonas mineras, es necesario tener en cuenta detalles como la salud de los involucrados en la obtención del oro.

#### **1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PROVINCIAS DE ESTUDIO (Anexo 1)**

Este proyecto se desarrolló en tres provincias en la zona Sur del Ecuador (Azuay, Zamora Chinchipe y El Oro), que es la zona del país con más actividades mineras. En cada provincia se seleccionaron tres localidades específicas indicadas en la Figura 1.1

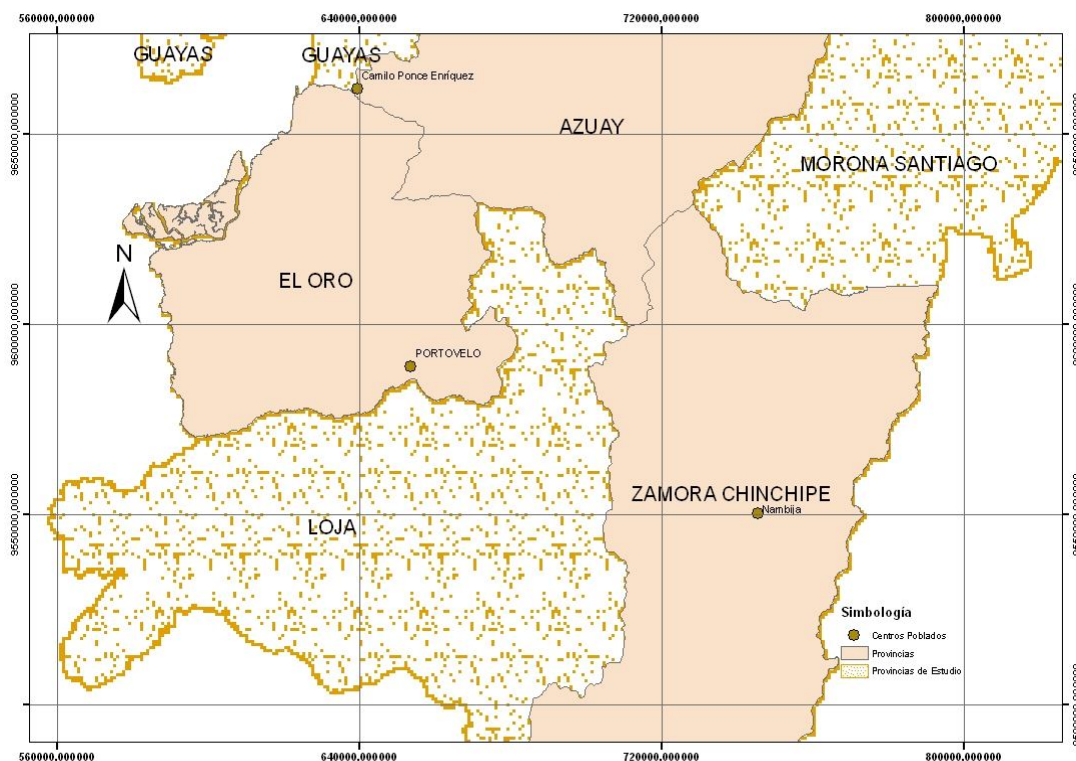


Figura 1.1 Provincias de estudio<sup>8</sup>

#### 1.4.1 Ubicación geográfica de los sitios de muestreo (Anexo 2)

##### a.) Provincia del Azuay

Superficie: 7.701 Km<sup>2</sup>.

Población Provincial: 513.000 habitantes aprox.

Capital: CUENCA con 170.000 habitantes aprox.

Fundada el 12 de Abril de 1557 por Gil Ramírez Dávalos.<sup>9</sup>

- Localidad Ponce Enríquez

El Cantón Camilo Ponce creado el 28 de Marzo del 2002, es el patrimonio natural de la provincia del Azuay, sin embargo, el Distrito Minero de Bella Rica fue descubierto en 1983. Su rango de altura es de entre 50- 1600 m.s.n.m. y está considerada como una zona de clima tropical húmedo.

<sup>8</sup> Autor

<sup>9</sup> Provincia del Azuay, [www.ecuaworld.com.ec/azuay.htm](http://www.ecuaworld.com.ec/azuay.htm).

El Distrito Minero Bella Rica se encuentra ubicado a pocos kilómetros de Ponce Enríquez y es una pequeña montaña entre el Río Siete al Sur y el Río Tenguel al norte y es donde radican todas las actividades mineras importantes.

Los yacimientos minerales de Ponce Enríquez (Bella Rica) consisten en profundas y estrechas vetas de cuarzo con mineralizaciones ricas en sulfuros asociados con el oro. Los minerales con contienen estos yacimientos son pirita, calcopirita y arsenopirita, mientras que el lecho rocoso está conformado por rocas volcánicas como andesítica y basáltica.<sup>10</sup>

#### b.) Provincia De Zamora Chinchipe

Superficie: 20.681 Km<sup>2</sup>.

Población Provincial: 62.000 habitantes aprox.

Capital: ZAMORA

Fundada en 1548 por Alonso de Mercadillo.<sup>11</sup>

##### - Localidad de Nambija

Este distrito minero fue descubierto en 1980 y se convirtió en el sitio preferido para la “fiebre del oro” provocando así, una sobrepoblación de gente trabajando allí. Durante varios años fue la principal área de producción de oro del país. Para llegar a Nambija desde la ciudad de Zamora es necesario cruzar el Río Zamora mediante una gabarra que lo transporta hasta el otro lado.

Su rango de altura oscila entre los 700 y 1400 m.s.n.m. y está considerada como una zona de clima tropical medio seco.

Posee rocas volcano-sedimentarias con intrusiones de granodiorita. Existen mineralizaciones relacionadas con estas intrusiones y aparecen como yacimientos irregulares de sulfuro-skarn o sulfuro con vetas de cuarzo.

---

<sup>10</sup> PRODEMINCA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998

<sup>11</sup> Provincia de Zamora, [www.ecuaworld.com.ec/zamora.htm](http://www.ecuaworld.com.ec/zamora.htm).



c.) Provincia de El Oro

Superficie: 5.988 Km<sup>2</sup>.

Población Provincial: 420.000 habitantes aprox.

Capital: MACHALA con 125.000 habitantes aprox.

Fundada el 25 de Junio de 1824 en presidencia de Plácido Caamaño Cornejo.<sup>12</sup>

- Localidad Portovelo-Zaruma

Es uno de los Distritos Mineros más antiguos del país y sufrió una etapa de explotación industrial entre 1904 y 1965 a pesar de que fue descubierta en 1896. Las ciudades de Zaruma y Portovelo fueron creadas a partir de la necesidad de dar vivienda a los trabajadores destinados a la explotación de oro.

Se encuentra entre los 1500 y 2100 m.s.n.m. y es una zona considerada como tropical húmeda. En esta zona la actividad minera está considerada desde hace varios años como baja ya que no se produce gran cantidad de oro.

El oro parece asociado con vetas de cuarzo. Las rocas son volcánicas dacíticas-andesíticas. Los yacimientos son complejos sistemas de vetas profundas en una zona de aproximadamente 50km. de largo 10 km. de ancho y como 1400 m verticalmente.<sup>13</sup>

Actualmente en las tres provincias con minería de pequeña escala (Azuay, Zamora Chinchipe y El Oro), se tienen 79 plantas de beneficio inscritas en el Ministerio de Energía y Minas, y 32 en trámite. Considerando la superficie máxima de concesión, en las tres provincias del sur de Ecuador, que concentran la actividad aurífera, se tienen 53 concesiones entre 0 y 30 has. cada una, que corresponden principalmente a pequeños mineros, y 27 concesiones adicionales entre 30.1 a 150 has., sobre un total de 110 concesiones en fase de explotación.<sup>14</sup>

---

<sup>12</sup> PRODEMINCA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998

<sup>13</sup> *Ibíd.*

<sup>14</sup> Datos del Sistema de Administración de derechos mineros (catastro minero) a marzo de 2001.

## CAPÍTULO II

### CONCEPTOS FUNDAMENTALES

#### 2.1 METALES PESADOS

De todos los elementos conocidos por el hombre, existe una gran cantidad de metales que han sido útiles desde la antigüedad y que han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de las civilizaciones. El problema surge cuando, de estos metales, prolifera su uso industrial y su empleo constante en la vida cotidiana termina por afectar la salud.

El término “metales pesado” a pesar de ser usado frecuentemente no posee no tiene una definición química exacta. Algunos de los elementos que están catalogados como metales pesados tienen peso específico mayor a cinco y algunos autores dicen que “metales pesados” son aquellos cuyo peso atómico está comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg). También se dice que son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua.

Algunos autores prefieren llamarlos “elementos tóxicos o elementos traza”, posiblemente porque están incluidos en la lista de contaminantes primarios de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés). Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto y para este proyecto, de interés minero.<sup>29</sup>

Los efectos tóxicos que producen los metales pesados, a largo y corto plazo, así como sus concentraciones (límites máximos) permisibles, están normalmente regulados por la legislación ambiental de cada país.

Desde un punto de vista estrictamente químico, los metales pesados son los elementos de transición y post transición junto con metaloides, como el arsénico y el selenio indicados en el Figura 2.1

---

<sup>29</sup> Sengupta, Arup K, *Environmental Separations of Heavy Metals*, Engineering Processes, Capítulo 1, 1era Edition, Septiembre 2001.



Por otra parte, son metálicos, algunos de los oligoelementos (14 en realidad, como el hierro, yodo, cobre, zinc, cobalto, cromo, manganeso, molibdeno, selenio, níquel, estaño, silicio, flúor y vanadio), y son considerados imprescindibles para el correcto funcionamiento de nuestro cuerpo, en concentraciones traza (cantidad minúscula). Algunos de los alcalinos (Na, K) y alcalinotérreos (Ca) y el Mg son cationes de gran importancia para el correcto funcionamiento celular y se encuentran en concentraciones altas en nuestro organismo.<sup>31</sup>

Entonces se puede hacer una separación entre los llamados “metales esenciales” para nuestra vida y para el correcto funcionamiento de nuestro cuerpo, y los “metales tóxicos” que son perjudiciales para la salud. Tabla 2.1

**Tabla 2.1 Metales esenciales y tóxicos**

<b>METALES ESENCIALES</b>	<b>METALES TÓXICOS</b>
Zinc	Cadmio
Hierro	Níquel
Manganeso	Plomo
Cobre	Aluminio
Cobalto	Arsénico*
	Mercurio

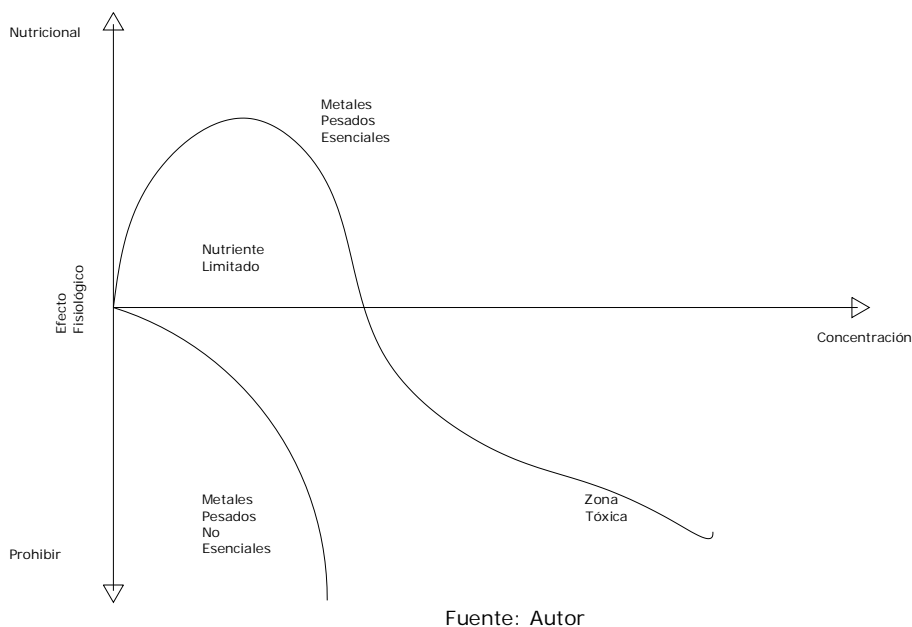
*\* Según recientes estudio, el arsénico está considerado como un elemento esencial para el funcionamiento de algunos animales.*

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser ni química ni biológicamente degradables, es decir, que no se controla su permanencia en el ambiente (materiales con vida útil controlada). Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros (biomagnificación), por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación.

### **2.1.2 Efectos Nutricionales y Prohibitivos de Metales Pesados en células/microorganismos vivientes**

<sup>31</sup> Unidad de Toxicología Clínica del Hospital Clínico de Zaragoza.

En la Figura 2.2 se puede observar que el umbral de toxicidad difiere de un metal a otro, sin embargo, los metales no esenciales (tóxicos) son perjudiciales en cualquier concentración.



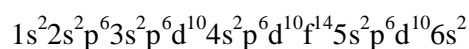
**Figura 2.2: Efectos de metales pesados en organismos**

De entre todos los metales, en el que centrará toda su atención este estudio, es en el Mercurio (Hg) debido a sus propiedades físicas, químicas, su toxicidad y su utilización.

## 2.2 EL MERCURIO (Hg)

Su nombre y abreviatura (Hg) proceden de *hidrargirio* (hoy ya en desuso), que procede del latín *hidrargirium* y de *hydrargyrus*, y que proviene del griego *hydrargyros* (*hydros* = agua y *argyros* = plata) traduciéndose como plata líquida<sup>32</sup>.

### 2.2.1 Configuración Electrónica



El mercurio retiene firmemente sus dos electrones de valencia 6s. El enlace mercurio-mercurio es débil porque los electrones de valencia no se comparten fácilmente. De hecho,

<sup>32</sup> Babor, Joseph A., Aznárez, José Iberz, *Química General Moderna*, Editorial Marín S.A., 1975

el mercurio es el único metal que no forma moléculas diatómicas en fase gaseosa. El calor fácilmente vence los débiles enlaces entre átomos de mercurio y éste funde a temperaturas más bajas que cualquier otro metal. La nube electrónica hace que el mercurio conduzca peor el calor y la electricidad de lo que debería esperarse de su posición en la tabla periódica.

### 2.2.2 Propiedades

El mercurio es un elemento que posee propiedades diferentes a muchas de las del resto de metales pesados. Algunas de ellas están indicadas en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2: Propiedades del mercurio**

Número atómico	80
Solidifica	-38,87° C
Dureza	2 y 2,5 Ohms
Masa Atómica	200,59 uma
Punto de Fusión	234,28 K (-39 ° C)
Punto de Ebullición	629,73 K (356,95° C)
Densidad	13546 kg/m <sup>3</sup> (13,59 g/cm <sup>2</sup> )
Potencial Normal de Reducción	+ 0,85 V Hg <sup>2+</sup>   Hg
Conductividad Térmica	8,30 J/m s °C
Conductividad Eléctrica	10,2 (mOhm.cm) <sup>-1</sup>
Calor Específico	137,94 J/kg °K
Calor de Fusión	2,3 kJ/mol
Calor de Vaporización	59,0 kJ/mol
Calor de Atomización	61,0 kJ/mol de átomos
Estados de Oxidación	+1, +2
Radio Atómico	1,57 Å
Volumen Atómico	14,82 cm <sup>3</sup> /mol
Polarizabilidad	5,4 Å <sup>3</sup>
Electronegatividad (Pauling)	2
Resistividad	0,957 Ω*mm <sup>2</sup> /m pero a -268,88° desaparece súbitamente su resistencia.

Solidifica	7.640 atmósferas (5.800.000 mm Hg) de presión
Es buen conductor de la electricidad	El mercurio ocupa el lugar 67 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre.
Es el único metal líquido a temperatura ambiente	Forma amalgamas con oro, plata y plomo.

El mercurio se disuelve fácilmente en ácido nítrico, y agua regia; en menor grado y solamente a temperaturas elevadas en ácido sulfúrico y ácido clorhídrico, formando sales de mercurio.

Las formas químicas de mercurio difieren entre sí en sus solubilidades en agua. Los valores de solubilidad para algunas formas químicas del mercurio aparecen en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3. Solubilidades del mercurio y sus compuestos en g/100 mL a 25°C<sup>33</sup>**

Mercurio elemental <b>Hg</b>	Cloruro Mercurioso (Calomel) <b>Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub></b>	Cloruro de Metilmercurio <b>CH<sub>3</sub>HgCl</b>	Cloruro Mercuríco <b>HgCl<sub>2</sub></b>
5.6x10 <sup>-6</sup>	2.0x10 <sup>-4</sup>	<0.01	7.4

La solubilidad lípida (en aceite y grasas) oscila entre 5 y 50 mg/l

### 2.2.3 Reactividad

Las reacciones del mercurio con algunos elementos se indican en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4: Reactividad del mercurio**

Con aire:	No reacciona; a 350 °C → HgO
Con H <sub>2</sub> O:	No reacciona
Con HCl 6M:	No reacciona
Con HNO <sub>3</sub> 15M:	Suave; → Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ; NO <sub>x</sub>
Con NaOH 6M:	No reacciona

<sup>33</sup> *The Merck Index*, Edición 12, 1996

### 2.2.4 Producción de Mercurio

Entre los países que producen mayor cantidad se encuentran España, Italia, la Unión Soviética y China.

Los yacimientos más importantes se encuentran en Almadén (Ciudad Real-España), California (EEUU), Monte Amiata (Italia) e Istria (Yugoslavia).

### 2.2.5 Fuentes De Emisión Del Mercurio

Las actividades industriales en el mundo producen emisiones de varias formas orgánicas e inorgánicas de mercurio, así como también las actividades naturales que son responsables de una gran cantidad de mercurio en el ambiente.

- Emisiones naturales: Son liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio debido a la desgasificación de la corteza terrestre, la actividad volcánica, la degradación de minerales, los incendios forestales y de la evaporación de los cuerpos de agua y este tipo de emisiones son muy difícil cuantificarlas.

Generalmente las emisiones naturales de mercurio no se pueden controlar y deben considerarse como parte del entorno a escala local y mundial. Con todo, es necesario no perder de vista estas fuentes, pues contribuyen a los niveles ambientales de mercurio. En algunas partes del mundo las concentraciones de mercurio en la corteza terrestre se elevan de manera natural, y contribuyen a incrementar las concentraciones locales y regionales de mercurio en esas áreas.

Sobre la cantidad de emisiones naturales sin embargo existen cifras muy distintas: mientras unos autores hablan de cantidades de hasta 150.000 t/a, otros afirman, que las emisiones naturales no superan unas 2500 t/a.<sup>34</sup>

- Emisiones antropogénicas: Resultantes de la generación eléctrica, de impurezas de la quema materias primas como también de combustibles, en particular del carbón y en menor medida del petróleo y del gas, de desechos sólidos urbanos, de la agricultura y de prácticas forestales. Todas estas fuentes movilizan grandes cantidades de mercurio en la

---

<sup>34</sup> Adsorption of Elemental Mercury by virgin and Impregnated Activated Carbon, Engineering Processes, Radisav D. Vidic, Chapter 2, 1st Edition, September 2001.



atmósfera (cerca de 11000 toneladas por año)<sup>35</sup>. Como ejemplos de fuentes importantes de liberaciones antropogénicas de mercurio se puede mencionar:

- La industria que produce cloro (con subproductos como hidrógeno y sosa cáustica).
- La quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, etc.) liberan mercurio elemental a la atmósfera.
- Compuestos de fenilmercurio (industria de papel de pulpa de madera)
- Compuestos de metilmercurio (fabricas químicas) son desechados.
- La Minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y elaboración de materiales minerales, por ejemplo, la producción de:
  - hierro y acero
  - ferromanganeso
  - zinc
  - **oro**
  - otros metales no ferrosos

### 2.2.6 Ciclo del Mercurio

Es el flujo continuo de mercurio entre la atmósfera, la tierra y el agua, así como el comportamiento del mismo en los diferentes medios y su transporte.

La Figura 2.3<sup>36</sup>, presenta de manera resumida el ciclo del mercurio y la forma como ocurre intercambio de especies mercuriales de acuerdo al medio en que se encuentran (aire, agua, suelo).

---

<sup>35</sup> *Perspectives on the Temporal Development of Mercury Inputs into the Environment*

<sup>36</sup> Autor

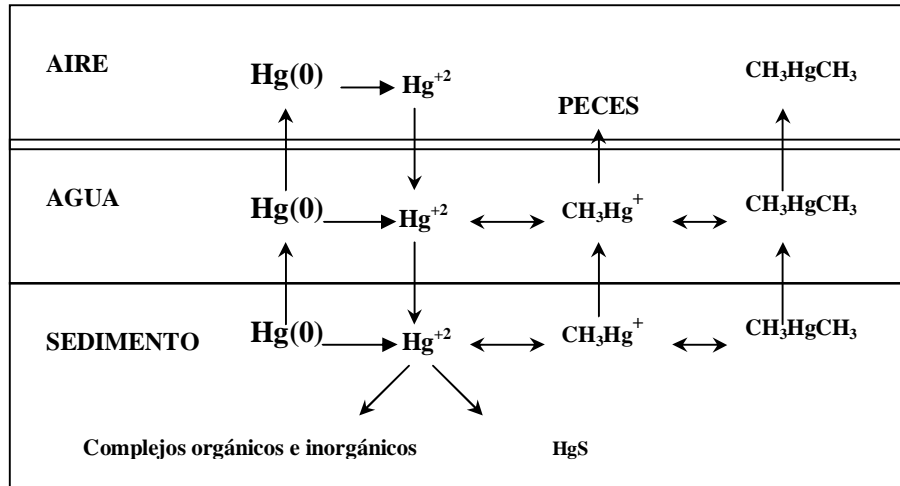


Figura 2.3. Esquema resumido del ciclo del mercurio.

Se estima que los océanos son los que mayor cantidad de mercurio poseen en forma de  $\text{HgS}$  con al menos  $10^{17}$  gramos de mercurio. La biosfera tendría aproximadamente  $10^{11}$  g, mientras que los suelos y sedimentos juntos poseerían  $10^{13}$  g. La atmósfera estaría con  $10^8$  g y por último las aguas terrestres con  $10^7$  gramos de mercurio pero hay que tomar en cuenta que se está excluyendo al mercurio en minas y en reservas subterráneas que podrían aumentar en algo la cantidad global existente.<sup>37</sup>

La presencia antropogénica del mercurio en el ambiente, debido a su movilidad, es muy difícil de cuantificarla pero se puede tener varias aproximaciones, a pesar de que los valores varían entre una publicación y otra; sin embargo se menciona que de todas las emisiones emitidas desde 1890, el 95% se encuentra en los suelos terrestres, 3% en aguas oceánicas y 2% en la atmósfera.

### 2.2.7 Utilización del Mercurio

A pesar de ser un elemento considerado como tóxico y que sus propiedades físicas y químicas son especiales y diferentes a muchos metales, el mercurio ha sido utilizado desde la antigüedad e inclusive hoy en día, en un sin número de aplicaciones:

<sup>37</sup> W.F. Fitzgerald, R.P. Mason y G.M. Vandal, *Contaminación de agua, aire y suelos*, 1991, 745-767

- Como cátodo en la electrólisis de la solución del cloruro de sodio para producir sosa cáustica y cloro gaseoso (aproximadamente 10 toneladas de mercurio por planta de procesamiento).
- Amalgamas dentales que contienen un 50% de mercurio.
- Termostatos, termómetros y barómetros.
- En pinturas para evitar los hongos.
- Amalgamación del Oro
- Etilmercurio (Timerosal o mertiolate) utilizado en desinfección y vacunas.
- El cloruro mercurioso (calomelano) utilizado como desinfectante intestinal y en forma de pomadas para tratar enfermedades en la piel.
- El cloruro mercúrico (o sublimado corrosivo) que se emplea como antiséptico.
- El yoduro mercúrico que se lo usa en la investigación de trazas pequeñísimas de amoníaco en el agua, sirviendo también para preparar el reactivo de Nessler.
- El fulminato de mercurio que se utiliza para la preparación de mezclas detonantes, en la metalurgia del oro y de la plata.

### 2.2.8 Formas Químicas del Mercurio

El Mercurio en el ambiente se lo encuentra en varias formas químicas:

- a.) MERCURIO ELEMENTAL ( $Hg^0$ ).
  - Es un metal plateado, líquido a temperatura ambiente, que normalmente se utiliza en termómetros y en algunos interruptores eléctricos.
  - Si no está encapsulado se evapora parcialmente, formando vapores de mercurio. Los vapores de mercurio son incoloros e inodoros. Cuánto más alta sea la temperatura, más vapores emanarán del mercurio líquido.
  - El mercurio elemental en forma de vapor es más soluble en plasma y en sangre que en agua destilada, donde es disuelto sólo en forma ligera.
  - La mayoría de las emisiones al aire son en forma de mercurio elemental gaseoso, que es transportado en todo el mundo a regiones alejadas de las fuentes de emisión.
  - La cantidad diaria absorbida de la atmósfera que entra al torrente sanguíneo por exposición respiratoria en los adultos es de unos 32 ng de mercurio en zonas rurales

- y de unos 160 ng en zonas urbanas, suponiendo concentraciones rurales de 2 ng/m<sup>3</sup> y concentraciones urbanas de 10 ng/m<sup>3</sup> (tasa de absorción de 80%).<sup>38</sup>
- En la atmósfera puede transformarse en mercurio iónico, que es la razón principal del depósito del mercurio elemental emitido.
  - Hasta hace poco, no se consideraba que los compuestos inorgánicos de mercurio produjesen muchos efectos en las plantas, porque no se conocía que se adhieren a las partículas del suelo, sin embargo, la absorción de mercurio elemental gaseoso a través de las hojas puede ser mucho más eficiente que la absorción de mercurio del suelo (Hg(II)) por las raíces; por lo tanto, es posible que la principal exposición de las plantas sea atmosférica.<sup>39</sup>
  - El tiempo de permanencia del mercurio elemental en la atmósfera puede ser de unos meses hasta aproximadamente un año. Esto permite el transporte a escala global y, por eso, las emisiones en determinados continentes pueden contribuir a la deposición en otros.<sup>40</sup>
  - La mayor parte de los procesos que generan emisiones atmosféricas de mercurio elemental emplean altas temperaturas. Durante esos procesos, entre ellos la quema de combustibles fósiles, incineración de desechos, calcinado y fundición de metales ferrosos y no ferrosos, y la producción de cemento, el mercurio introducido con los insumos se volatiliza y convierte en mercurio elemental (Hg<sup>0</sup>).
  - La tasa de oxidación del mercurio elemental es fundamental para la química del mercurio atmosférico porque los compuestos de mercurio oxidado (tales como HgO y HgCl<sub>2</sub>) que se producen son más solubles (y, por lo tanto, son recogidos con mayor rapidez por las nubes), menos volátiles (y, por lo tanto, recogidos con mayor rapidez por las partículas) y tienen una mayor velocidad de deposición<sup>41</sup>.

#### b.) FORMAS INORGANICAS (MERCURIO I Y MERCURIO II)

- Mercurio I (Hg-Hg)<sup>2+</sup>, ión mercurioso o mercurio divalente.
- Mercurio II (Hg)<sup>2+</sup>, ión mercúrico.

---

<sup>38</sup> PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Evaluación Mundial sobre el Mercurio, Ginebra Suiza, Junio 2005

<sup>39</sup> Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado en la minería aurífera artesanal Lima, septiembre de 2001

<sup>40</sup> PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Evaluación Mundial sobre el Mercurio, Ginebra Suiza, Junio 2005

<sup>41</sup> *Ibíd.*

Algunos de los compuestos inorgánicos de mercurio más conocidos son: sulfuro de mercurio ( $\text{HgS}$ ), óxido de mercurio ( $\text{HgO}$ ) y cloruro de mercurio ( $\text{HgCl}_2$ ). 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  $\text{HgCl}_2$ ) 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.) FORMAS ORGÁNICAS

El mercurio metálico también se disuelve en ácidos orgánicos, y los compuestos inorgánicos de mercurio (sobre todo los compuestos con halógenos) pueden reaccionar con sustancias orgánicas, formando compuestos orgánicos de mercurio. En los compuestos orgánicos de mercurio el mismo, por lo general, forma enlaces covalentes con el carbón. Estos compuestos se clasifican en:

- mercurios alcaloides (metilmercurio, etilmercurio, etc.)
- mercurios ariloides (fenilmercurio, etc.)
- diuréticos de mercurio.

Los cationes de mercurio orgánicos reaccionan fácilmente con compuestos biológicamente importantes, especialmente con grupos de sulfatos hídricos. Estos compuestos traspasan membranas biológicas con facilidad.

Varios de los compuestos inorgánicos son químicamente inestables, y por lo tanto constituyen una fase intermedia en la formación de compuestos orgánicos (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5: Compuestos inorgánicos inestables**

sulfuros:	$\text{HgS}$
óxidos:	$\text{HgO}$

compuestos con halógenos:	Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , HgCl <sub>2</sub> , HgF <sub>2</sub> , HgBr <sub>2</sub> , etc.
cianuros y tiocianatos	Hg(SCN) <sub>2</sub> , etc.
nitratos, sulfatos:	Hg <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> , Hg <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HgSO <sub>4</sub> , etc.

### 2.2.9 Metilación del Mercurio

El metilmercurio es una de las especies más tóxicas para un gran número de seres vivos dentro de la cadena trófica. Es cierto que existen otras especies de mercurio, la mayoría organometálicas, que son más tóxicas que el metilmercurio, sin embargo su incidencia en el medio ambiente es menor. Los productos principales de la metilación del mercurio son:

Metilmercurio: **CH<sub>3</sub>-Hg**

Dimetilmercurio: **CH<sub>3</sub>-Hg-CH<sub>3</sub>**

La metilación del mercurio se produce inicialmente en aguas y el resultado de la metilación se deposita en los sedimentos de los ríos o mares, sin embargo la metilación también puede darse en los sedimentos. También es necesario anotar que existen dos maneras de metilación del mercurio y que los mismos organismos que metilan el mercurio los desmetilan de manera similar pero con algunas diferencias:

#### 1.- METILACIÓN BIÓTICA (Biometilación)

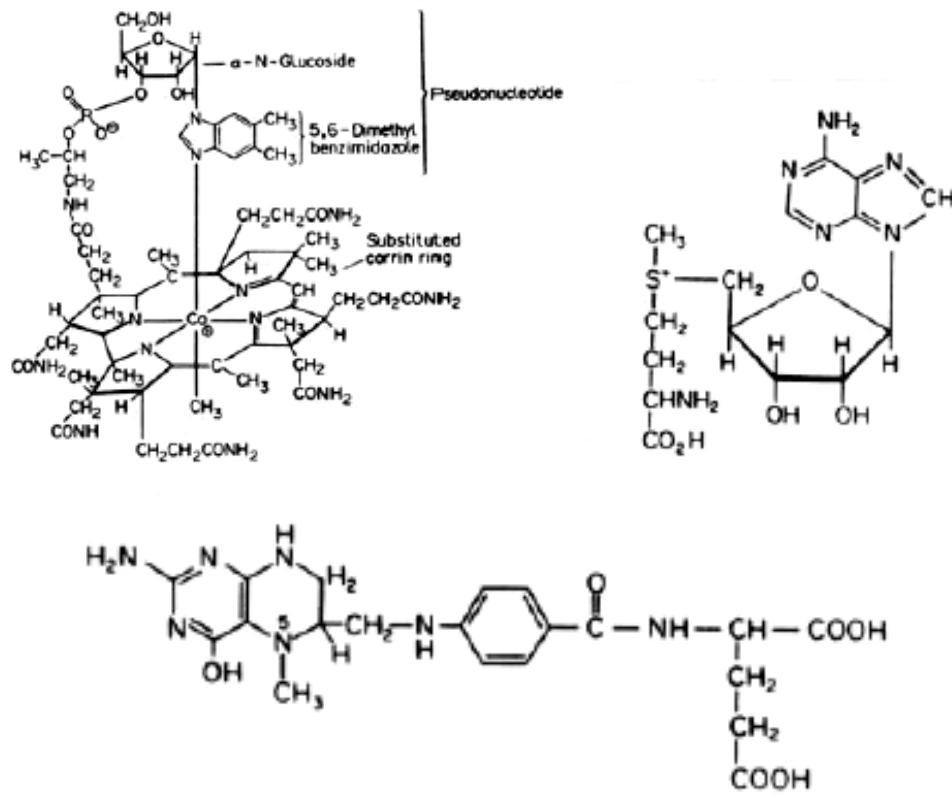
Para la biometilación existen tres tipos de organismos que son los encargados de la generación de metilmercurio y de dimetilmercurio:

##### a.) Organismos anaerobios:

Existen tres agentes metilantes biológicos asociados a los metales pesados y son:

- Metilcobalamina (Figura 2.4) que es un compuesto análogo a la coenzima B12 o cianocobalamina (Figura 2.7).
- S-adenosilmetionina (Figura 2.5).
- N<sup>5</sup>-metiltetrahidrofolato (Figura 2.6)<sup>42</sup>

<sup>42</sup> Verbel, Jesús Olivero, Jhonson Respreto, Boris, *El Lado Gris de la Minería del Oro*, Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Químicas, 2002.



Figuras 2.4, 2.5 y 2.6: Metilcobalamina, S-adenosilmetionina y N<sup>5</sup>-metiltetrahidrofolato

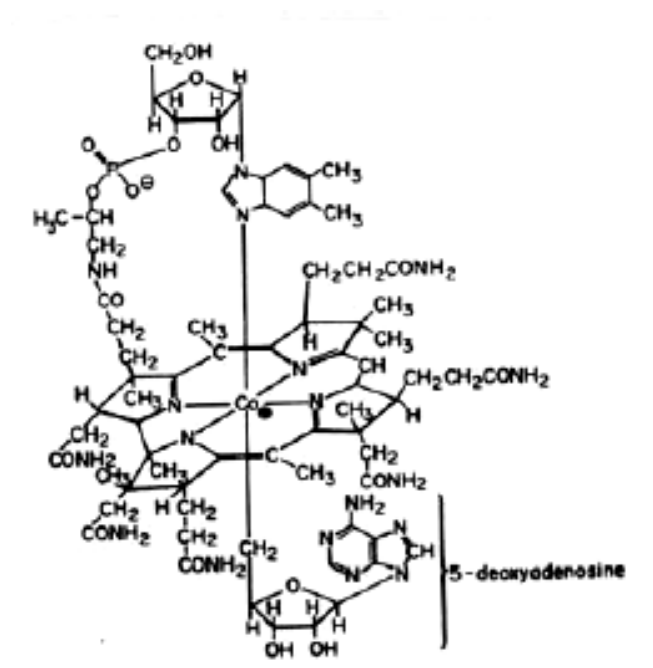


Figura 2.7: Coenzima B12

Estas bacterias anaerobias metilan el mercurio utilizando la Metilcobalamina que transfiere un metilcarbani3n ( $\text{CH}_3^-$ ) al i3n merc3rico ( $\text{Hg}^{2+}$ ) generando as3 el metilmercurio. La metilcobalamina puede transferir un segundo metilcarbani3n al metilmercurio para producir dimetilmercurio aunque esta segunda reacci3n es 6000 veces m3s lenta que la primera reacci3n<sup>43</sup>. Los organismos anaerobios que pueden destacarse entre los m3s comunes son:

- *Clostridium cochlearium*
- *Desulfovibrio desulfuricans*.

b.) Hongos:

- *Asperigillus niger*
- *Saccharomyces cerevisiae*
- *Neurospora crasa*.
- *Rhizopus orrhizus*

c.) Organismos aerobios: Las bacterias asociadas a la metilaci3n del mercurio se encuentran generalmente en los sedimentos profundos de r3os, estuarios y oc3anos, intestinos y excrementos, y suelos y fermentos. Entre los m3s conocidos est3n:

- *Pseudomonas spp*
- *Bacillus megaterium*
- *Escherichia coli*
- *Enterobacter aerogenes*.

Estos microorganismos facilitan la formaci3n de complejos entre el i3n mercurio (II) con ciste3na, a trav3s de la interacci3n del i3n merc3rico ( $\text{Hg}^{2+}$ ) con el grupo sulfidrilo del amino3cido. Luego usando el metilo como un grupo donador, y una enzima transmetilasa, el Metilmercurio es separado del complejo (Figura 2.8)<sup>44</sup>.

---

<sup>43</sup> Verbel, Jes3s Olivero, Jhonson Respreto, Boris, *El Lado Gris de la Miner3a del Oro*, Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Qu3micas, 2002.

<sup>44</sup> *Ib3d.*



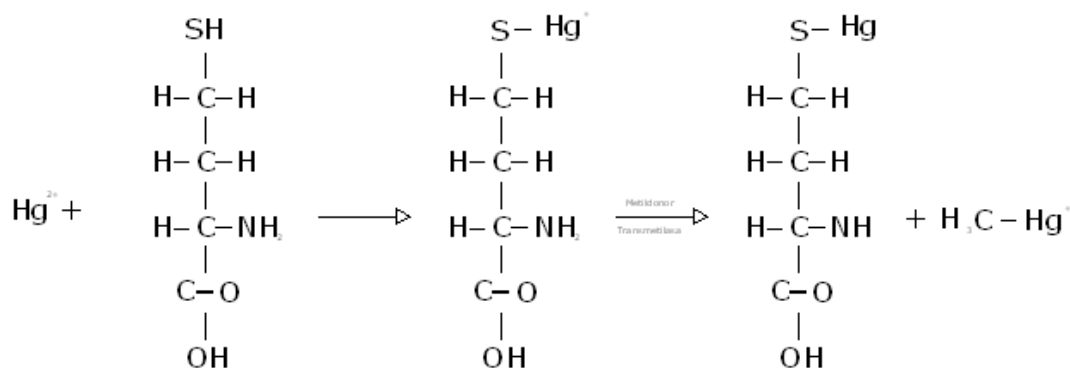


Figura 2.8: Formación de metilmercurio por bacterias aeróbicas<sup>45</sup>.

## 2.- METILACIÓN ABIOTICA

Existen de dos tipos:

- Transmetilación: Un grupo metilo se transfiere de un metal a otro.



- Metilación fotoquímica: Ocurre en una menor extensión. El grupo metilo se produce fotoquímicamente cuando moléculas como acetato, metanol y aminoácidos entre otros, están expuestos a radiación UV.

### 2.2.10 Toxicidad del Mercurio

- El mercurio es muy volátil, y sus vapores son tóxicos para el hombre.
- Es muy venenoso, puesto que nuestro organismo no es capaz de eliminarlo totalmente.
- La principal vía de intoxicación es la respiratoria.
- La intoxicación por este metal se denomina hidrargirismo, y se manifiesta con ulceraciones de las encías, ennegrecimiento de los dientes, vómitos, diarreas, temblores.

<sup>45</sup> Autor

- La toxicidad del mercurio depende de su forma química y entonces los síntomas y signos de intoxicación varían según se trate de exposición al mercurio elemental, a los compuestos inorgánicos de mercurio, o a los compuestos orgánicos de mercurio (en particular los compuestos de alquilvercurio como sales de metilvercurio y etilvercurio, y el dimetilvercurio).

### Tipos de Intoxicación<sup>46</sup>

En los casos en que se llega a un punto crítico en el balance entrada-eliminación de mercurio, aparecen los efectos tóxicos que se manifiestan de diferentes formas de intoxicación: aguda, subaguda y crónica.

#### *a.) Aguda por vapores de Hg*

Si la vía de penetración es la respiratoria, aparece traqueo bronquitis que siempre se acompaña de tos, fiebre y posteriormente puede aparecer una neumonía. Por inhalación masiva de vapores de mercurio se han descrito algunos casos en los que se presentan mareos, ceguera súbita, espasmos musculares y temblor corporal.

#### *b.) Subaguda*

No es frecuente en el medio artesanal, no obstante se ha descrito algunos casos con el siguiente cuadro: tos o irritación bronquial, vómitos, diarrea, ulceraciones en mucosa de la boca.

#### *c.) Crónica*

Es la forma más frecuente y constituye el denominado "Hidrargirismo o Mercurialismo". El gran síntoma del hidrargirismo es el temblor. Suele iniciarse en la lengua, labios, párpados y dedos de las manos en forma de temblor fino de más de 20 oscilaciones / minuto.

---

<sup>46</sup> PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Evaluación Mundial sobre el Mercurio, Ginebra Suiza, Junio 2005)

- Fases del Hidrargirismo o Mercurialismo

1.- Fase de absorción o impregnación en la que aparece una sintomatología poco precisa e inespecífica: Anorexia, astenia, pérdida de peso, cefaleas, vértigos, insomnio, dolores y parestesias en miembros inferiores y con menor frecuencia en superiores, masticación dolorosa.

2.- Fase de intoxicación propiamente dicha se caracteriza por:

2.1.- Alteraciones digestivas: En forma de náuseas, vómitos y diarrea. El hallazgo más significativo es la denominada "estomatitis mercurial" cuyo principal síntoma es la sialorrea (excesiva producción de saliva), a menudo acompañada de hipertrofia de las glándulas salivares. Posteriormente aparece gingivitis e incluso ulceraciones en la mucosa bucal. Hay caída prematura de los dientes y el paciente experimenta en ocasiones una sensación de alargamiento de los mismos.

2.2.- Alteraciones del Sistema Nervioso: Aparecen trastornos psíquicos tales como: irritabilidad, tristeza, ansiedad, insomnio, temor, pérdida de memoria, excesiva timidez, debilidad muscular, sueño agitado, susceptibilidad emocional, hiperexcitabilidad o depresión. Todo ello constituye el denominado "Eretismo Mercurial".

3.- Micromercurialismo: Actualmente y cada vez con mayor frecuencia se observa este cuadro en trabajadores expuestos a niveles bajos de vapores de mercurio. Los síntomas son:

- Sensación de pesadez en miembros inferiores.
- Transpiración abundante
- Inestabilidad emocional

La concentración de mercurio en personas, determinado por la Organización Mundial de la Salud (1980), asociados con el desarrollo de síntomas de mercurialismo es de 100 mg por litro<sup>47</sup>.

#### Intoxicación con Mercurio Elemental

La vía principal de exposición al mercurio elemental es por inhalación de sus vapores. Cerca del 80% de los vapores inhalados son absorbidos por los tejidos pulmonares. Este vapor también penetra con facilidad la barrera de sangre del cerebro. La absorción intestinal de mercurio elemental es baja. El mercurio elemental puede oxidarse en los tejidos corporales a la forma divalente inorgánica.

En cuanto a carcinogenicidad, la evaluación general del *IARC* (*Agencia Internacional de Investigación de Cáncer* 1993) concluye que el mercurio metálico y los compuestos inorgánicos de mercurio no son clasificables en cuanto a carcinogenicidad para los seres humanos (grupo 3).

En la exposición a mercurio elemental, o sea aquella a la que están expuestos los mineros auríferos, odontólogos, personas con amalgamas dentales y trabajadores de plantas de producción de cloro, entre otros, puede generar déficit en el desarrollo neurológico y de comportamiento (Ozuah, 2001; Tirado *et al.*, 2000), lo cual puede incluir daños sutiles en la memoria visual, atención y velocidad en las respuestas visuales, auditivas y psicomotoras (Counter *et al.*, 2002, Ellingsen *et al.*, 2001), pérdida reversible de la capacidad para distinguir colores (Cavalleri y Gobba, 1998), además de inflamaciones severas de la piel (Zimmer *et al.*, 1997; Boyd *et al.*, 2000), entre otros efectos.<sup>48</sup>

#### Intoxicación con Metilmercurio

En cuanto a los compuestos de alquimercurio, de los cuales el metilmercurio es el más importante, la fuente de exposición más significativa es la dieta (comida), particularmente la dieta a base de pescados y mariscos.

---

<sup>47</sup> Mercury Contamination of humans in Gold and Silver Mining Areas

<sup>48</sup> PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Evaluación Mundial sobre el Mercurio, Ginebra Suiza, Junio 2005

El metilmercurio ocupa un lugar especial porque mucha población está expuesta a él, y sus efectos tóxicos están mejor caracterizados que los de otros compuestos orgánicos de mercurio. Se considera que, dentro del grupo de los compuestos orgánicos de mercurio, los compuestos de alquilmercurio (en particular, etilmercurio y metilmercurio) son similares en toxicidad (además, ambos han sido utilizados como plaguicidas). En cambio, otros compuestos orgánicos de mercurio, como el fenilmercurio, se asemejan más al mercurio inorgánico en sus efectos tóxicos.

El metilmercurio es un neurotóxico, que puede provocar efectos terribles particularmente en el cerebro en formación. Además, este compuesto traspasa la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica; por eso es muy preocupante la exposición durante el embarazo. También algunos estudios indican que incluso un pequeño aumento en la exposición al metilmercurio puede causar efectos perjudiciales en el sistema cardiovascular. Además, basándose en su evaluación general, el Centro Internacional de Investigación sobre el Cáncer (*International Agency for Research on Cancer, IARC, 1993*) considera que los compuestos de metilmercurio pueden ser carcinógenos para los seres humanos (grupo 2B).

### **2.2.11 ¿Cómo entra el mercurio en nuestro cuerpo humano y dónde se queda?**

El mercurio es absorbido por los pulmones y la piel. Del mercurio inhalado el cuerpo absorbe un 82%, depositando gran parte en el sistema nervioso, mientras que del ingerido sólo se acumula cerca del 7%. Por eso la inhalación de vapores de mercurio es la fuente de contaminación más peligrosa.

Se sabe que después de comer el nivel de mercurio en la sangre sube en las personas que tienen empastes con amalgama, porque se sueltan iones de mercurio. Éstos primero son absorbidos por la saliva y a través del sistema digestivo llegan a la sangre, donde se pueden medir. Si esta saliva fuese agua estaría prohibido su consumo.

Muchas veces, por lo menos dos horas después de comer, personas con 8 empastes tienen de 100 a 200 veces más mercurio en el aire de exhalación de lo que está permitido en instalaciones industriales. Así pasan también a la circulación sanguínea, donde se transforma una parte del vapor de mercurio en óxido de mercurio, una forma del mercurio aún más tóxica que el vapor. Y puesto que órganos como el hígado, la bilis, el corazón y el riñón trabajan como un filtro sanguíneo, es aquí donde se almacena principalmente el metal tóxico.

Casi todas las enfermedades del sistema nervioso conocidas no están provocadas primariamente por el mercurio en el cerebro, sino por los venenos e infecciones secundarias que llegan al cerebro por la defectuosa barrera hematoencefálica. Eso quiere decir que para tratar enfermedades neurológicas es imprescindible quitar el mercurio para estabilizar el funcionamiento de la barrera hematoencefálica, inhibiendo así la entrada de sustancias patógenas.

En unos estudios se han puesto empastes marcados con sustancias radioactivas a unas ovejas y a unos monos para ver donde se queda el mercurio. Después de 4 semanas se encontró este metal en los riñones, el hígado, las glándulas renales, el tubo digestivo, el hipotálamo, la hipófisis, el sistema límbico, la tiroides, los ganglios espinales, la médula espinal y en el cerebro. Después de 6 meses el funcionamiento de los riñones se había reducido en un 60%. Un año más tarde no se había reducido la carga de mercurio, al contrario, esta había aumentado. Después de quitar los empastes tampoco se reducía la cantidad. Esto significa: una vez envenenado – siempre envenenado.

Cuando masticamos se desprenden partículas de amalgama en su forma metálica todavía poco inocua, que se tragan. La flora intestinal natural transforma estas partículas y el vapor de mercurio en la forma más peligrosa del metal: metilmercurio

### **2.2.12 Diagnósis y desintoxicación**

Para medir el mercurio es necesario utilizar sustancias que movilizan y echan a éste del cuerpo. Para esta tarea sirven algunos productos farmacéuticos como el DMSA (ácido dimercapto-succínico) y el DMPS (Dimercapto-propansulfonato), los cuales movilizan y echan grandes cantidades de metales pesados de diferentes partes del cuerpo a través de la orina. Las grandes desventajas son los efectos secundarios y que sólo sueltan los metales de los tejidos pero no del sistema nervioso. En la desintoxicación con remedios naturales se usa la alga chlorella, el cilantro y el ajo silvestre. Tomando estos remedios se pueden medir las toxinas en las heces. Porque los metales pasan de los tejidos a la sangre; antes de ser absorbidos por la chlorella, se pueden detectar en ella y así también en el vello<sup>49</sup>.

---

<sup>49</sup> Conferencias del Dietrich Klinghardt M.D., Ph.D.

### 2.2.13 Origen de mercurio en las aguas y sedimentos

El mercurio es uno de los elementos naturales de mayor toxicidad, es por eso que muchos países lo están eliminando y dejando de utilizarlo en ámbitos domésticos, comerciales, médicos e industriales.

“Cualquier volcán del mundo expulsa mercurio, que viaja grandes distancias con el viento. Los suelos del Amazonas son muy antiguos: entre 500.000 y un millón de años de antigüedad. Han estado recibiendo mercurio de la atmósfera durante mucho tiempo. Ese es el motivo por el cual hay tanto mercurio en el suelo. Eventualmente cae sobre la Tierra en el agua de lluvia, para depositarse en suelos y sedimentos, océanos y lagos.”<sup>50</sup>

Al existir deforestación en algunas zonas el mercurio que se encuentra en el suelo es llevado a los ríos y riachuelos. Allí, los microorganismos y las plantas acuáticas absorben el mercurio y lo convierten en metilmercurio, potencialmente perjudicial para los seres humanos. Los peces se alimentan de las plantas acuáticas y luego los peces más grandes se comen a los más pequeños. El mercurio atraviesa así la cadena trófica hasta llegar a los principales depredadores: los seres humanos, es decir que, si los seres humanos comen pescado, quedan expuestos al mercurio. Si se alimentan de aves que comen pescado, el nivel de mercurio puede ser aún mayor. Se conoce que la cantidad de mercurio en sitios con frecuencia de explotación de oro depende también de la época del año y de la estación, según la disponibilidad de peces.

### 2.3. PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE ORO

Para la recuperación de oro en el Ecuador, existen algunos métodos que logran un buen porcentaje (rentable) del metal. Algunos de estos métodos son costosos y otros, los más utilizados, son aquellos que no se necesita de gran inversión de dinero. También depende del tipo de yacimientos del que se desea extraer el oro, pero de una u otra manera, las condiciones de trabajo, para extracción y procesamiento, son extremadamente duras.

En algunos asentamientos mineros del Ecuador, se extrae manualmente la veta de oro y en otras mediante explosivos; las condiciones, dentro de la mayoría de estas minas, son de extrema inseguridad. Se estima que se utiliza entre 1.5 y 2 kg. de mercurio para la

---

<sup>50</sup> Dr. Marc Lucotte, Universidad de Quebec, Montreal, *Determinación de Mercurio en la Amazonia de Brasil del IDRC.*

producción de 1 kg de oro, lo que significa un consumo anual entre 1000 y 1500 kg., de los cuales al menos un 40% se quedaría en las colas, pudiendo llegar a los suelos y a los sedimentos.<sup>51</sup>

### 2.3.1 Extracción

Básicamente depende del tipo de yacimiento del que se desea extraer y procesar el oro. Los depósitos de oro, de los que se detalla aquí su forma de extracción, son los llamados aluviales (ríos) y primarios (minas).

Yacimientos Aluviales:

- manual (picando el lecho del río y desviando el cauce)
- monitores/bombas de grava (no muy común y además costoso para la gente que trabaja en depósitos aluviales)
- dragas/balsas (no muy común)
- equipo pesado (tractores, retroexcavadoras)

Yacimientos Primarios (Minas)

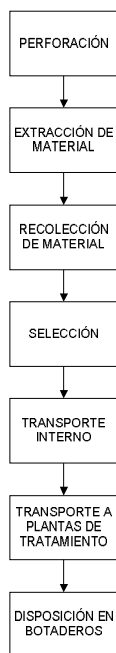
- manual
- perforación manual o mecanizada (taladros mecánicos)
- uso de explosivos

En el Figura 2.9 se presenta el proceso más utilizado para la extracción de oro de una mina.

---

<sup>51</sup> PRODEMINCA, Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998





**Figura 2.9: Extracción**

Para la etapa de perforación, no en todas las minas se utilizan explosivos, ya que en algunas, muchas veces es más seguro utilizar herramientas manuales para las labores de perforación e ingreso a los túneles. En yacimientos aluviales no es necesario perforar nada ya que el material sale del los lechos de los ríos.

Para yacimientos primarios, en la etapa de extracción del material, se necesitan picos para poder despedazar las porciones grandes de material. Existen también taladros mecánicos que son utilizados, junto con los explosivos, en sitios donde se tiene un poco más de capital. En yacimientos aluviales la extracción también se la realiza mediante herramientas manuales como picos y azadones.

Algunos cuentan con bombas de grava que no son comunes debido a su alto costo. En varios yacimientos aluviales también se trabaja con maquinaria pesada (Foto 2.1) para dragar el fondo del río y así conseguir mucho más material para su procesamiento. Esto también implica gran inversión de capital y no es muy común ver este tipo de extracción.



Foto 2.1: Extracción en yacimiento aluvial con maquinaria pesada

En la etapa de recolección del material, el mismo es recogido y amontonado en algún lugar seleccionado dentro de la mina o a un costado del lecho del río para poder proceder a la etapa de selección.

Con la experiencia se puede seleccionar pedazos de material que se presume contienen gran cantidad de oro. Estos son los que serán transportados hacia las plantas de tratamiento. La selección de material es manual y depende en gran parte del buen ojo del trabajador (Foto 2.2). Para los yacimientos aluviales, la selección es una etapa que casi no se la realiza ya que directamente pasa el material salido del lecho del río a los canalones para su posterior procesamiento.



Foto 2.2: Selección de material

Dependiendo del tamaño de la mina, puede este transporte ser realizado mediante un vagón o mediante costales en las espaldas de los jornaleros. Esta etapa no se da en los yacimientos aluviales debido a que con una pala acomodan el material en los canalones.

El material salido de la mina es llevado por medio de carretillas pequeñas a las plantas de procesamiento, a pesar de que en las plantas más modernas, el material es llevado directamente por medio de vagones con ruedas o en rieles (Foto 2.3). En el caso de yacimientos aluviales, lo que queda en los canalones es llevado a sus respectivos hogares para formar las amalgamas y luego quemarlas para obtener oro.



Foto 2.3: Transporte de material

Aquellos pedazos de material que no fueron llevados a las plantas de procesamiento y que fueron separados en la mina, son depositados luego en el botadero cercano (Foto 2.4) a la mina, en donde hombres, mujeres y muchas veces niños seleccionan, mediante un combo (martillo), aquellas partes en donde presumen puede haber una cantidad significativa de oro. A este proceso se lo llama “Jancheo”. Estos pedazos de material son acumulados en sus respectivos hogares hasta almacenar una tonelada métrica, que es la cantidad mínima con la que se puede procesar este material en los molinos.



Foto 2.4: Botadero en Bella Rica

Para el caso de yacimientos aluviales, el material que no sirve queda en las riveras de los ríos o son arrojados nuevamente al cauce de los mismos.

### 2.3.2 Procesamiento

El procesamiento del material depende de de su origen:

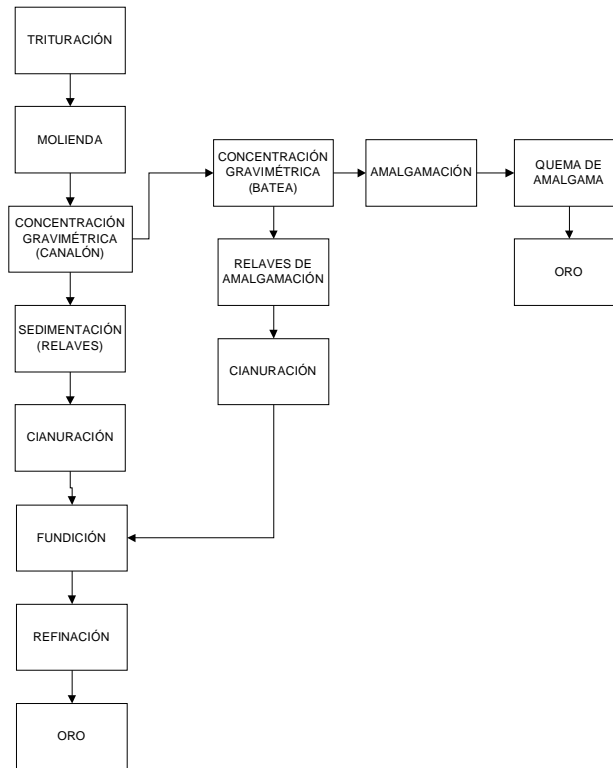
Yacimientos Aluviales:

- manual (batea)
- canaletas
- amalgamación
- quema de la amalgama

Yacimientos Primarios (Minas)

- manual
- chancadora/trituradora
- molinos (a bolas)
- centrífugas rústicas
- amalgamación o lixiviación por cianuro
- quema de la amalgama o fundición

En el Figura 2.10 se representan dos maneras de procesar el material que se extrae de la mina. Lo que interesa para este proyecto es la segunda rama, que parte de la concentración gravimétrica por canalón, hacia la concentración gravimétrica por batea, para seguir con la amalgamación, continuar con la quema de la amalgama y la obtención de oro.



**Figura 2.10: Procesamiento**

El material seleccionado de la mina ingresa a trituradoras (Foto 2.5) para hacer más fácil la separación del oro de otros componentes. El material triturado ingresa a continuación al molino. Esta etapa solo se da en los yacimientos primarios a pesar de que en los yacimientos aluviales en algo se trituran los pedazos grandes pero sin maquinaria especial.



Foto 2.5: Ingreso de material a trituradora

En la etapa de la molienda se reduce el tamaño del material para que la gravedad actúe en el siguiente paso y para que sea mucho más fácil transportarlo por los canalones. En esta etapa de molienda se utilizan molinos (Foto 2.6) de gran capacidad para poder procesar la mayor cantidad de material. Para yacimientos aluviales no es necesario la molienda debido que se trata de poner en los canalones del río solo material muy fino.



Foto 2.6: Molino en Portovelo

La Concentración Gravimétrica se fundamenta en la ley de la gravedad, que provoca que el oro, al ser más pesado que otros materiales provenientes de la mina, y acompañado de la suficiente cantidad de agua, se deposite en el fondo, ya sea de los canalones colocados a continuación de los molinos (Foto 2.7), o en los recipientes donde se realiza el platoneo (Foto 2.8).

A continuación de la etapa de concentración gravimétrica, se tienen dos opciones comúnmente usadas en el Ecuador para el procesamiento del material al que se le desea extraer el oro. El primer método es el de **AMALGAMACIÓN** y el segundo es el de **CIANURACIÓN**.



Foto 2.7: Canales a continuación del molino



Foto 2.8: Batea con material para amalgamación



Foto 2.9: Canales en yacimientos aluviales

Para los yacimientos aluviales, lo que sale de los canales (Foto 2.9) es llevado al proceso de amalgamación que se explicará adelante en este documento.

**a.) AMALGAMACIÓN:**

La amalgamación es un proceso que se utiliza para recuperar el oro que es capaz de alearse con el mercurio. Dichas aleaciones se conocen como amalgamas y se forman por el contacto entre mercurio y oro. La amalgamación se utiliza tanto en la pequeña minería primaria (de vetas) como en la pequeña minería aluvial (aquella en la que se trocea el lecho del río) por ser una técnica económica y que necesita muy pocos instrumentos de trabajo y recursos. El oro en un tamaño de grano entre 20-50  $\mu\text{m}$  y 1-2mm es apropiado para la amalgamación.

**1.- Técnicas de amalgamación:**

Se puede diferenciar dos tipos de técnicas principales:

- **Circuito Abierto:** Significa que todo el material aurífero se pone en contacto con mercurio en un flujo continuo. No es posible recuperar todo el mercurio y una parte de éste, en forma de mercurio elemental (gotas o partículas finísimas) o en forma de amalgama escapan con las colas, contaminando enormemente los alrededores.
  
- **Circuito Cerrado o de Concentrados:** Sólo porciones del material es puesto en contacto con el mercurio. Esto quiere decir que se van tomando concentrados del material salido de los canalones, sean de los ríos (yacimientos aluviales) o de los que están a continuación de los molinos, y se los va tratando con mercurio siguiendo el proceso descrito a continuación:

Primero se procede a colocar el material (concentrado) en un plato semiplano con agua. Se le agrega panela con el fin de ayudar a homogenización y acumulación de oro. (Foto 2.10 y 2.11).





Foto 2.10: Material para “platoneo”.



Foto 2.11: Plato listo con panela y el material por procesarsePortovelo-Ecuador

A continuación se procede con el platoneo (Fotos 2.12 y 2.13) que no es más que aplastar con una piedra en movimientos circulares, el material para su homogenización. Además de ir agregando agua constantemente para que se vaya la arena liviana y quede el oro asentado en el fondo del plato (Foto 2.14).



Fotos 2.12 y 2.13: Platoneo



Foto 2.14: Acumulación de oro

Se incorpora aproximadamente un gramo de mercurio (Foto 2.15) para continuar con el proceso de platoneo.



Foto 2.15: Adición de mercurio.

Luego de mezclar el oro y el mercurio (en amalgama), se forma una bola (Foto 2.16) que es exprimida mediante un trapo o tela (Fotos 2.17 y 2.18) para recuperar una cierta cantidad de mercurio (Foto 2.19) que, según se estima, se encuentra entre el 10 y 20 % de lo que se agregó en un inicio.



Foto 2.16: Bola de amalgama.



Fotos 2.17 y 2.18: Trapo o tela para exprimir la bola de amalgama



Foto 2.19: Recuperación de mercurio

Las arenas que quedan de la amalgamación son almacenadas para luego darles tratamiento de cianuración y el resto de etapas en la planta de procesamiento (Foto 2.20).



Foto 2.20: Colas empozadas Portovelo-Ecuador

Luego de formar la llamada “bola de amalgama”, esta debe ser quemada en pequeñas retortas artesanales (Foto 2.21) ubicadas en las plantas de procesamiento. Para ello es necesaria la utilización de tanques de gas con el que se enciende un soplete (Foto 2.22), el cual es colocado en la retorta junto con la bola de amalgama cubierta de papel higiénico. En algunas plantas no le colocan este último elemento.

Esta retorta tiene una cámara de recuperación (Foto 2.23) en donde se condensa el mercurio utilizado para la elaboración de la bola de amalgama. El porcentaje de recuperación del mercurio es bastante bajo, alrededor de un 20%, en comparación al porcentaje que se evapora y se va al ambiente que oscila entre el 50 y 60%.



Foto 2.21: Retorta para quema de bola de amalgama



Foto 2.22: Quema de bola de amalgama

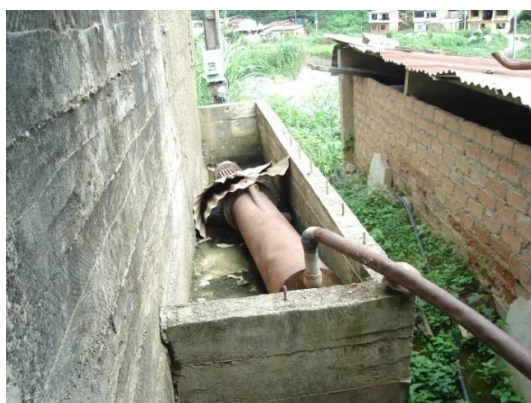


Foto 2.23: Cámara de recuperación de mercurio.

2.- Condiciones para la amalgamación: Frecuentemente el oro puede contener ciertos minerales acompañantes y/o impurezas con efectos negativos para el proceso de amalgamación como son:

- Los sulfuros de arsénico, antimonio y bismuto reaccionan con el mercurio, produciendo una pérdida significativa del mineral precioso y mercurio. En un ambiente oxidante, como en las aguas ácidas de mina (Foto 2.24), también la pirrotina y en menor grado la pirita y calcopirita pueden tener un efecto negativo sobre la amalgamación.
- La baritina, el talco, la esteatita y otros silicatos hidratados de magnesio y aluminio también podrían interrumpir el procesamiento e incrementar las pérdidas de oro y mercurio.
- Los lubricantes y las grasas son extremadamente problemáticos, porque se fijan al mercurio y atrapan sulfuros, talco, arcillas y otros minerales. Como resultado, el mercurio es cubierto por una sólida película de finas partículas.

Adicionalmente, la presencia de aceites lubricantes o grasas causan la flotación del oro, el cual es alejado en el proceso del “platoneo” (Foto 2.25). Las medidas a tomarse para evitar dichos factores negativos incluyen, añadir agentes limpiadores, algún detergente fuerte o la savia de una planta; el objetivo de su uso es saponificar el aceite y la grasa.

- Otros agentes frecuentemente utilizados para mejorar el rendimiento de la amalgamación son: la panela (concentrado de caña de azúcar), el limón, trazas de cianuro, gasolina, etc.

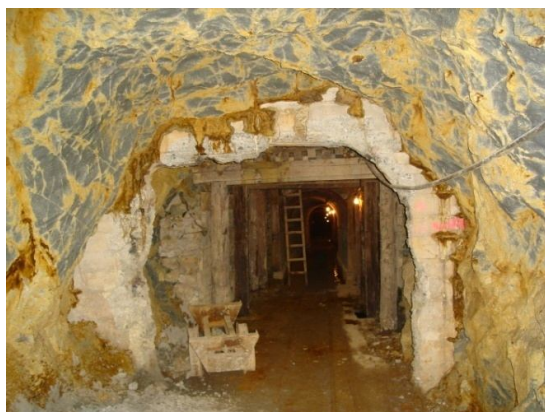


Foto 2.24: Ambiente ácido dentro de una mina Zaruma-Ecuador

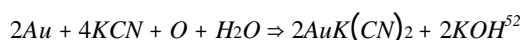


Foto 2.25: Platoneo en Portovelo-Ecuador.

## b.) CIANURACIÓN:

La cianuración es uno de los procesos en los que más se recupera el oro pero también está entre los más complicados y costosos para la gente de pocos recursos. La solubilidad del

oro en soluciones de cianuro (Marsden, 1992) fue reconocida en 1783 por Scheele (Suecia) y fue estudiada en los años 1840 y 1850 por ELkington and Bragation (Rusia), Elsner (Alemania), y Faraday (Inglaterra). La disolución de oro en soluciones aireadas de cianuro y la regla del oxígeno en su mecanismo fue investigada por Elsner (1846), y la reacción fue reportada (Shoemaker, 1984) como se muestra continuación:



Existen dos tipos de cianuración utilizados en la pequeña minería aurífera:

- Percolación (material grueso).
- Agitación (material fino).

Cualquiera de estos dos métodos tiene la ventaja de que utiliza las colas (relaves) de la etapa de concentración gravimétrica y que su manejo es relativamente fácil. Las desventajas de este método es que se utilizan reactivos tóxicos y que los costos de dichos reactivos son altos<sup>53</sup>.

La cianuración puede ser:

- Estática: Cuando el material no se encuentra en movimiento ni es sujeto a ningún tipo de agitación. Los costos son más bajos para este tipo de operación ya que no necesitan de energía continua.
- Dinámica: Cuando el material se encuentra en permanente movimiento, inclusive pasando de tanque en tanque para la recuperación de oro. Es evidente que los costos de este tipo de cianuración son mayores debido a su permanente necesidad de energía para los tanques de agitación.

En ambos casos son necesarios tanques metálicos para agitación o percolación, varios químicos, muchos de ellos tóxicos, energía suficiente y capacitación del personal ya que este procedimiento va mucho más allá de cualquier procedimiento artesanal.

---

<sup>52</sup> Gonzaga, Luis, *CIANURACIÓN POR AGITACIÓN PARA LA DISOLUCIÓN DE ORO DE LAS MENAS DE PONCE ENRÍQUEZ (PROVINCIA DEL AZUAY - ECUADOR)*, Noviembre 2005

<sup>53</sup> Wotruba, Hermann, *Procesos de beneficio mineral aptos para la minería en pequeña escala*, Departamento de Procesamiento de Minerales, RWTH Universidad de Aachen

Se debe producir una agitación constante de 32 horas en promedio, en tanques de agitación a 56 rpm. (Foto 2.26), del material que viene de procesos gravimétricos. Luego se produce una precipitación con virutas de zinc (Foto 2.27) dentro de unas cajas especiales. Este precipitado se lava con ácido nítrico y pasa a la etapa de fundición. Lo que queda en el tanque es llamada solución pobre a la que se le agrega nuevamente cianuro y se la recircula al tanque de cianuración.



Foto 2.26: Tanque de cianuración



Foto 2.27: Virutas de zinc

Luego de los canalones en los que se deposita el oro de mayor tamaño y que van a continuación de los molinos, se encuentran piscinas de sedimentación (Foto 2.28) en donde se acumula todo el material que sale de dichos molinos. Estas piscinas servirán de base para la cianuración.





Foto 2.28: Piscina de sedimentación

Para la etapa de fundición se utilizan hornos a gas que poseen un soplador, en donde se funden (Foto 2.29) los restos depositados en las piscinas de sedimentación, a temperaturas altísimas para luego recuperar lo que queda de oro en el material. Aquí se incorpora bórax, madera, NaCN y otros elementos para formar una placa anódica que se refinará a continuación. Existe una etapa de fundición posterior a la refinación de la que se obtiene el oro propiamente dicho en lingotes o barras.



Foto 2.29: Fundición

En la etapa de refinación se obtienen pedazos de material fundido que son enfriados en tinas electrolíticas. Además, por medio de químicos y electricidad, desintegran las placas enfriadas convirtiéndolas en cristales de oro. Estos cristales vuelven a ser fundidos para obtener las barras de oro.

## 2.4 ASPECTOS LEGALES

Una de las políticas de Estado, consagradas en la Constitución Política de la República del Ecuador, reconoce el derecho de todas las personas de vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación, y a su vez declara de interés público la preservación del ambiente, de los ecosistemas, de la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético<sup>54</sup>.

En el caso de este proyecto, también se debe conocer las normas en las que se sustenta la pequeña minería en el Ecuador para poder tener una idea más clara del manejo adecuado que debería darse en los sectores mineros de los que se extrae oro.

En este ámbito, encontramos que en el Reglamento Ambiental para Actividades Mineras, preparado entre 1995 y 1997, se incluyeron importantes avances gracias a las discusiones y talleres entre empresas mineras, pequeños mineros, ambientalistas y opositores a toda actividad minera por motivos ecológicos. Entre los avances están la prohibición de hacer minería en áreas naturales protegidas, la obligatoriedad de presentar los estudios de impacto ambiental a las comunidades circundantes, entre otros.

En el **REGLAMENTO AMBIENTAL DE ACTIVIDADES MINERAS** de la **REPÚBLICA DEL ECUADOR (Decreto Ejecutivo No. 625. RO/ 151 de 12 de Septiembre de 1997)**<sup>55</sup>, en el capítulo VIII dentro de las **NORMAS AMBIENTALES APLICABLES EN ACTIVIDADES DE EXPLOTACION Y TRATAMIENTO DE MINERALES** existe el artículo 61 que dice:

**Art. 61.- Amalgamación.-** Cuando el proceso de recuperación mineral contemple el uso de mercurio, deberá realizarse acatando estrictamente las Normas para la Utilización de Mercurio en la Actividad Minera, establecidas mediante Acuerdo Ministerial No. 338, publicado en el Registro Oficial No. 286, de 29 de septiembre de 1989. En todo caso se utilizarán cilindros amalgamadores, retortas, reactivadores de mercurio y principalmente equipos de protección personal. Se evitará, por todos los medios, el contacto directo de los trabajadores con este elemento.

---

<sup>54</sup> Constitución Política de la República del Ecuador, Capítulo II Derechos Civiles, artículo 23, numeral 6 y 20 y artículo 86.

<sup>55</sup> Reglamento Ambiental para Actividades Mineras, Septiembre 1997

El mercurio antes y después de su uso, deberá ser cuidadosamente almacenado y guardado en recipientes herméticamente cerrados, para evitar su fuga.

Se prohíbe terminantemente el uso directo de mercurio en molinos de cualquier tipo y en canalones.

Los efluentes producidos en la etapa de amalgamación deberán ser recolectados y almacenados en reservorios impermeabilizados, los mismos que al cierre de las operaciones, serán rehabilitados de acuerdo a lo establecido en los estudios ambientales.

Así mismo en el capítulo IX existen los artículo 48, 49 y 71 en los que se habla del mercurio:

**Art. 48.- De la minería en pequeña escala.-** Se considera minería en pequeña escala a las operaciones que realicen los titulares de concesiones mineras, que se enmarquen dentro de los siguientes parámetros:

- a) Superficie máxima concesionada: 150 hectáreas mineras;
- b) Mineral extraído en sus concesiones: hasta 100 toneladas métricas por día;
- c) Monto de inversión total en sus concesiones de hasta un millón de dólares de los Estados Unidos de América.
- d) Condiciones tecnológicas que pudieran ser mejoradas para incrementar los índices de recuperación de mineral y disminuir el impacto ambiental.

**Art. 49.- De la asistencia técnica a la minería en pequeña escala.-** El Ministerio de Energía y Minas impulsará la evolución de la minería en pequeña escala hacia una mediana y gran minería, a través de programas especiales de asistencia técnica. Para estos propósitos, los titulares de concesiones mineras en pequeña escala presentarán, durante el mes de diciembre de cada año, una solicitud en la que hará constar de manera específica sus requerimientos de asistencia para el siguiente año calendario.

La asistencia técnica sólo podrá referirse a aspectos específicos de corto plazo y, por ningún concepto, podrá destinarse a la elaboración de los informes que conforme a la Ley de Minería y sus Reglamentos deban presentar los titulares de derechos mineros.<sup>56</sup>

---

<sup>56</sup> Reglamento general sustitutivo para la ley de Minería, publicado en Abril de 2001

**Art. 71.-** Uso de mercurio.- Los mineros artesanales sólo podrán utilizar mercurio u otros reactivos contaminantes cuando cuenten con amalgamadoras, retortas y depósitos para la sedimentación de partículas, o mantengan dispositivos que permitan la recuperación de mercurio y eviten la contaminación atmosférica, acuática o del suelo, en estricta conformidad con las Normas para la Utilización de Mercurio en la Actividad Minera establecidas mediante Acuerdo Ministerial No. 338, publicado en el Registro Oficial No. 286, de 29 de septiembre de 1989.

La constitución preparada por la Asamblea Nacional en 1997, incorporó importantes derechos colectivos, como la consulta previa y los derechos de los pueblos indígenas y afroamericanos a participar de los recursos de sus territorios ancestrales.

La discusión de una nueva Ley de Minería, realizada entre 1996 y 1999, antes y después del proceso constitucional, permitió debatir conceptos como cierre de minas y garantías ambientales. Aunque no llegó a aprobarse en el Congreso, permitió nuevamente sensibilizar a mineros y no mineros, en la necesidad de un uso racional de los recursos naturales, con respeto y cuidado del ambiente. La nueva ley y reglamento, han establecido, además, reglas más claras respecto a la minería de pequeña escala:

#### 2.4.1 Límites Máximos Permisibles

Según el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, los límites máximos permisibles utilizados varían de acuerdo a la utilización ya sea del agua, como de los suelos. Es necesario señalar que no existe un límite permisible para sedimentos exclusivamente en estas normativas:

**TABLA 2.6 Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional<sup>57</sup>.**

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,001

<sup>57</sup> *Texto Unificado de Legislación Ambiental*, Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes

**TABLA 2.7. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieran desinfección.**

Parámetros	Expresado Como	UNIDAD	Límite Máximo Permissible
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,001

**TABLA 2.8 Criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario.**

PARÁMETROS	EXPRESADOS COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE		
			AGUA FRÍA DULCE	AGUA CÁLIDA DULCE	AGUA MARINA Y DE ESTUARIO
Mercurio	Hg	mg/L	0,0002	0,0002	0,0001

**TABLA 2.9 Criterios referenciales de calidad para aguas subterráneas, considerando un suelo con contenido de arcilla entre (0-25,0) % y de materia orgánica entre (0 - 10,0)%.**

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Mercurio (total)	Hg	µg/L	0,18

**TABLA 2.10 Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola**

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,001

**TABLA 2.11 Criterios de calidad para aguas de uso pecuario**

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,01

**TABLA 2.12 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público**

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,01

TABLA 2.13 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005

TABLA 2.14 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público<sup>58</sup>

Parámetro	Símbolo	Unidades	Alcantarillado	Cauce de Agua
Mercurio	Hg	mg/L	0.01	0.005

TABLA 2.15 Criterios de calidad de suelo<sup>59</sup>

Sustancia	Unidades	Suelo
Mercurio	mg/kg	0.1

Tabla 2.16 Criterios de remediación o restauración (valores máximos permitidos)

SUSTANCIA	Unidades (Concentración en Peso Seco)	USO DEL SUELO			
		Agrícola	Residencial	Comercial	Industrial
Mercurio (inorgánico)	mg/kg	0.8	2	10	10

TABLA 2.17 Niveles máximos permisibles de contaminantes básicos a monitorear en el punto de control a 150 m de un relleno<sup>60</sup>

Sustancia química	Límite máximo permitido (mg/L)
Mercurio	0.002

En el TULAS no existe una normativa específica que regule los máximos permisibles para sedimentos.

<sup>58</sup> Dirección Metropolitana de Medioambiente, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

<sup>59</sup> *Texto Unificado de Legislación Ambiental*, Libro VI, Anexo 2, Norma De Calidad Ambiental Del Recurso Suelo Y Criterios De Remediación Para Suelos Contaminados

<sup>60</sup> *Ibíd*, Libro VI, Anexo 6, Norma De Calidad Ambiental Para El Manejo Y Disposición Final De Desechos Sólidos No Peligrosos

### 2.4.2 Valores de Fondo

Los valores de fondo representan las condiciones ambientales imperantes, de variables a determinarse, antes de cualquier perturbación, es decir, son las condiciones iniciales en ausencia de actividades antropogénicas. En el caso de las actividades mineras, los valores de fondo serían aquellos valores antes del inicio de dichas actividades. Estos valores muchas veces son difíciles de estimar debido a la falta de datos e información necesarios para ello y son elaborados en base a toma de muestras en sectores cercanos los sitios de muestreo, donde no existen las actividades alteradoras.

Los valores de fondo para mercurio a utilizarse, son los mismos determinados por el proyecto PRODEMINCA<sup>61</sup>, debido a que este último realizó mediciones durante varios años con el fin de determinar valores de fondo y valores de línea base en los mismos sitios de muestreo y en otros sitios más. Para aguas y sedimentos, los valores de fondo están indicados en las Tablas 2.18 y 2.19.

**Tabla 2.18 Valores de fondo para aguas.**

<b>ELEMENTO</b>	<b>Ponce Enríquez (Bella Rica)</b>	<b>Nambija</b>	<b>Portovelo-Zaruma</b>
Hg (µg/L)	0.0078	0.074	0.005

**Tabla 2.19 Valores de fondo para sedimentos.**

<b>ELEMENTO</b>	<b>Ponce Enríquez (Bella Rica)</b>	<b>Nambija</b>	<b>Portovelo-Zaruma</b>
Hg (µg/kg)	48	150	55

Con estos valores de fondo se hace una determinación de la situación real de cada sector, de acuerdo al grado de perturbación presente. Si se dividen los valores de cada concentración sobre el valor de fondo obtenemos grados de perturbación para cada una de ellas (Tabla 2.20)<sup>62</sup>.

<sup>61</sup> PRODEMINCA, Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998

<sup>62</sup> Ibíd

### 2.4.3 Grados de perturbación antropogénica<sup>63</sup>

La clasificación presentada en la Tabla 2.20 fue introducida en el Ecuador al Proyecto PRODEMINCA por el Gobierno de Suecia a través de la Agencia Sueca de Protección Ambiental para la determinación de la situación real de contaminación de cada sitio de estudio en particular durante el tiempo en el que se desarrolló este estudio. Básicamente se calcula un factor de contaminación que es el resultado de dividir la concentración determinada (concentración real) para el valor de fondo del sitio de muestreo (valor ideal), lo que nos da un grado de perturbación con su respectiva denominación. Mientras más alto es el valor de esta división, más alto será el grado de perturbación, es decir, que si el valor de contaminación encontrado es dividido para el valor de fondo y ese resultado es uno o menor quiere decir que no existe perturbación.

**Tabla 2.20 Grados de perturbación antropogénica de acuerdo a las concentraciones de mercurio.**

Factor de Contaminación (concentración presente/valor de fondo)		Grado de perturbación Antropogénica	Denominación
Agua	Sedimentos		
<1.5	<1.5	0	Perturbación Insignificante o nula
1.5-3.00	1.5-6.00	1	Perturbación Evidente
3.00-10.00	6.00-20.00	2	Perturbación Severa
>10	>20	3	Perturbación Muy Severa

<sup>63</sup> PRODEMINCA, Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998



## **CAPÍTULO III**

### **MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS**

#### **3.1 MUESTREO**

Muestras de agua y sedimentos fueron tomadas en ríos que reciben las aguas de la minería de oro. En los ríos el muestreo fue llevado a cabo a distancias donde las condiciones topográficas lo permitieron. Las muestras tomadas en Ponce Enríquez fueron analizadas en el Centro de Investigaciones Científicas de la ESPE, mientras que el resto de muestras, aquellas de Nambija y Portovelo-Zaruma, se analizaron en el Laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Químicas (Oferta de Servicio y Productos) de la Universidad Central del Ecuador por razones logísticas únicamente.

Las investigaciones de campo incluyeron el posicionamiento satelital de los sitios de muestreo en los cuerpos de agua mediante un GPS navegador Magellan 330 MAP que tiene una precisión aproximada de 15 metros. Se tomó un punto GPS por cada una de las muestras en sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) con un Datum de mapa en PSAD56 y se tomó también varias fotografías de los sitios muestreados.

##### **3.1.1 Ponce Enríquez (Bella Rica)**

El trabajo de campo fue realizado en el mes de Julio del 2006 y se tomaron un total de 17 muestras de agua y 21 de sedimentos (Anexo 3 y 4).

Esta zona fue dividida en tres subzonas con una separación entre cada una de aproximadamente 2.5 Km. en línea recta:

1. Parte Alta: Campamento Minero de Bella Rica.
2. Parte Media: Piscina de oxidación de las aguas que bajan del poblado de Bella Rica. Sector del Río Guanache.
3. Parte Baja: Afueras de la población de Ponce Enríquez. Se muestreó en el Río Guanache.

### **3.1.2 Nambija**

El trabajo de campo se realizó entre enero y febrero del 2007. Las muestras fueron tomadas a lo largo del Río Nambija y en pequeños afluentes del mismo en número de 20 muestras para agua y 23 muestras de sedimentos (Anexo 5 y 6).

Se comenzó el muestreo en el caserío de Nambija, y más específicamente en una quebrada que cruza por el lugar y se decidió seguir río abajo a lo largo de los esteros y del Río Nambija que desembocan en el Río Zamora. La longitud aproximada de recorrido desde la primera muestra hasta la última es de 14 Km.

### **3.1.3 Zaruma Portovelo**

El trabajo de campo fue realizado en enero del 2007 y se tomaron un total de 22 muestras de agua y 24 de sedimentos (Anexo 7 y 8).

El muestreo se realizó en 3 ríos ubicados a lo largo de zonas de beneficio minero de oro y estos ríos son el Amarillo, El Caleras y el Pindo. La distancia recorrida aproximada es de 10 Km. a pesar de que existen 3 puntos GPS de tres muestras tomadas a una distancia mayor con el fin de tener valores presumiblemente sin concentraciones de mercurio por actividades mineras.

## **3.2 MÉTODOS**

### **3.2.1. Muestreo de agua**

- Se introdujo una botella de agua de 500 ml (Foto 3.1) en los flujos de agua tratando de tomar la muestra a contracorriente y se tomó la muestra de agua dejando un espacio libre de aproximadamente 3 cm. para compensar los cambios de volumen por congelación.
- Se la cerró con una contratapa para evitar que se derrame.
- La botella con la muestra fue identificada con etiquetas recubiertas de cinta adhesiva, con la información del lugar, la hora, la fecha y las coordenadas.

- Las muestras fueron trasladadas a Quito para su análisis, en cadena de frío, es decir, en una hielera con suficiente cantidad de hielo con el fin de que el mercurio no se volatilice.



Foto 3.1: Muestras de agua

### 3.2.2. Muestreo de Sedimentos de ríos



Foto 3.2: Muestras de Sedimentos



Foto 3.3: Traslado de Muestras de Sedimentos

- Se utilizaron recipientes plásticos (Foto 3.2) de un litro de capacidad.
- Con una pequeña pala se realizó la recolección de la muestra desde una profundidad de entre 20 y 30 cm.
- Se identificaron las muestras con etiquetas recubiertas con cinta adhesiva con la información del lugar, la hora, la fecha y las coordenadas. Las tarrinas fueron selladas con cintas adhesivas y colocadas dentro de fundas herméticas.
- Fue necesario congelar las muestras (Foto 3.3) para su posterior análisis.

### 3.3 ANÁLISIS QUÍMICOS

#### 3.3.1 Digestión de las muestras de aguas de ríos

Para las muestras de agua analizadas en el CEINCI, no se realizó ningún procedimiento de digestión (adición de ácidos o fusión alcalina) ya que se puede medir directamente en el equipo todas aquellas aguas llamadas “claras” que no son otra cosa que aguas de ríos y vertientes naturales, sin embargo, es recomendable hacer un filtrado de cada muestra para eliminar impurezas.

El resto de muestras, analizadas en el OSP si fueron digeridas utilizando el procedimiento indicado en el Estándar Métodos 3112B APHA (Hojas técnicas adjuntas).

#### 3.3.2 Digestión de las muestras de sedimentos de ríos

En el CEINCI, la digestión de los sedimentos se realizó siguiendo la metodología utilizada en varios estudios a nivel mundial y que originalmente es de la IRSA (*Istituto de Ricerca sulle Acque*) con su método analítico para sedimentos: parámetros físico-químicos. En este se indica que da buenos resultados la digestión ácida tratando de evitar elevar la temperatura demasiado debido a la posibilidad de volatilización del mercurio:

- A cada muestra se las secó en un horno a 60 grados centígrados (Fotos 3.4 y 3.5).
- Luego se molieron en un mortero y se tamizaron a tamaños mayores a 425 micrómetros de diámetro (Foto 3.6).
- Se les agregó 125 ml de ácido clorhídrico 4 Normal (Foto 3.7).
- Pasaron mezclándose en un agitador orbital (Foto 3.8) durante 2 días para lograr la máxima extracción.
- Se las pasó entonces por un colador (Foto 3.9) para poder ser analizadas posteriormente en el equipo de absorción atómica.



Foto 3.4 y 3.5: Muestras de Sedimentos secadas en horno



Foto 3.6: Tamizada de muestras



Foto 3.7: Muestra con 125 ml de HCl



Foto 3.8: Agitador orbital



Foto 3.9: Muestras

Las muestras analizadas en el OSP fueron digestadas según el Estándar Métodos al igual que con el agua utilizando el mismo método.

### 3.3.3 Cuantificación de mercurio en aguas y sedimentos por absorción atómica con vapor frío.

- Para la medición de las concentraciones de mercurio se utilizó la técnica de absorción atómica con vapor frío en los dos laboratorios antes mencionados.
- En el CEINCI se utilizó un Espectrómetro de Absorción Atómica (Foto 3.10) marca Perkin Elmer 100 AA con un generador de Hidruros manual (MHS 15) (Foto 3.11).
- Se utilizó una campana de extracción (Foto 3.12).
- Como gas conductor fue utilizado el argón (99,998%).



Foto 3.10: Espectrómetro de absorción atómica



Foto 3.11: Generador de Hidruros MHS



Foto 3.12: Campana de extracción

## a.) Reactivos

- 0,15 mol/L de Ácido Hidroclorhídrico (HCl)
- 0,22 mol/L de Ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) (Foto 3.13)
- Permanganato de Potasio ( $\text{KMnO}_4$ ) al 5% (Foto 3.14)
- Hidróxido de Sodio NaOH
- 0,8 mol/L Borohidruro de Sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) (Foto 3.15)



Foto 3.13: Ácido Nítrico 0,22 mol/L (Preparado) Foto 3.14: Permanganato de Potasio al 5% (Preparado)

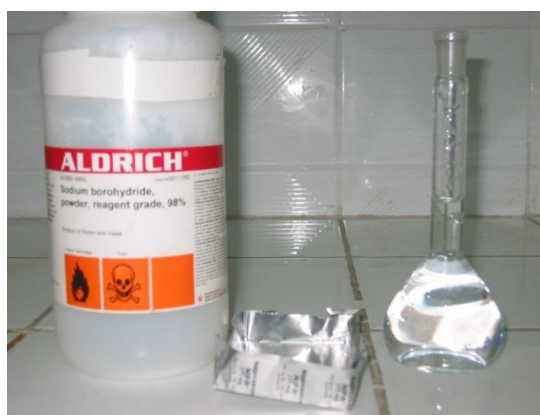


Foto 3.15: Borohidruro de Sodio 98% (Preparado)

- b.) Solución Madre (Foto 3.16) de 1000 mg/L (ppm) la que se diluyó para obtener una solución de 1 ppm (Foto 3.17).



Foto 3.16: Solución de 1000 ppm



Foto 3.17: Solución de 1 ppm (Preparado)

## c.) Calibración

- Alícuotas de Calibración de 100, 200 y 500  $\mu\text{l}$  correspondientes a 100, 200 y 500 ng Hg.

## d.) Diluyentes

- 1,5% Ácido Nítrico
- 1,5% Ácido Clorhídrico

## e.) Volumen de Calibración de 10 ml (Foto 3.18)



Foto 3.18: 10 ml de ácido nítrico

f.) Solución Reductante 3%  $\text{NaBH}_4$  en 1% de  $\text{NaOH}$ 

## g.) Longitud de Onda Analítica de 253.6 nm

## h.) Abertura anchura y altura 0,7 mm

## i.) Fuente de Radiación: Lámpara de descarga de electrones (Foto 3.19) y su correspondiente sensor



Foto 3.19: Lámpara de descarga de electrones



- j.) Calentador: Sin llama.
- k.) Volumen Preparado: de 10 ml a 50 ml
- l.) Tiempo de purga pre reacción: 5s
- m.) Tiempo de purga post reacción: 50s
- n.) Concentración de Prueba: 25 ml de los 1000 mg/L de solución stock dan una absorbancia de aproximadamente  $A=0.2$  (Foto 3.20).



Foto 3.20: 25 ml de solución stock diluída

- Las soluciones madre y de calibración se estabilizaron con  $\text{KMnO}_4$  (Fotos 3.21)

Todas las soluciones se estabilizaron en el vaso de medición al agregar una gota de  $\text{KMnO}_4$  al 5% antes de empezar la determinación.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO

##### 4.1.1 Ponce Enríquez (Bella Rica)

###### a.) AGUA

Los resultados de las mediciones de las concentraciones de mercurio, en cada una de las muestras, se presentan en la Tabla 4.1 y en el Anexo 9.

**Tabla 4.1 Concentración total de mercurio en muestras de agua**

Punto	Fecha	Hora	Sitio	COORDENADAS		Altura aprox. (m)	Concentración Total (µg/L)
				NORTE (m)	ESTE (m)		
1	05/07/2006	7:55:00	Bella Rica Parte Alta	9660134	644083	976	8,68
2	05/07/2006	11:40:00	Bella Rica Parte Alta	9659859	644187	911	5,94
3	05/07/2006	12:10:00	Bella Rica Parte Alta	9659835	644184	906	8,90
4	07/07/2006	18:10:00	Bella Rica Parte Media	9659857	643845	852	6,78
5	07/07/2006	18:20:00	Bella Rica Parte Media	9660416	643439	756	7,62
6	07/07/2006	18:50:00	Bella Rica Parte Media	9661404	643159	481	6,56
7	08/07/2006	16:50:00	Piscina de Oxidación	9661305	642773	433	5,30
8	08/07/2006	17:20:00	Piscina de Oxidación	9661255	642714	414	4,02
9	10/07/2006	6:14:00	Piscina de Oxidación	9661281	642735	419	7,00
10	10/07/2006	11:35:00	Piscina de Oxidación	9661266	642663	419	7,20
11	10/07/2006	12:20:00	Piscina de Oxidación	9661225	642756	451	4,66
12	10/07/2006	17:45:00	Piscina de Oxidación	9661334	642774	417	4,02
13	11/07/2006	7:05:00	Bella Rica Parte Baja	9661811	640768	43	4,02
14	11/07/2006	8:00:00	Bella Rica Parte Baja	9661888	640734	65	1,90
15	12/07/2006	8:30:00	Bella Rica Parte Baja	9661805	640946	62	5,72
16	13/07/2006	12:45:00	Bella Rica Parte Baja	9661843	639793	40	5,50
17	13/07/2006	14:25:00	Bella Rica Parte Baja	9660302	638704	20	47,88

## b.) SEDIMENTOS

Los resultados de los análisis de muestras de sedimentos y su concentración de mercurio se presentan en la Tabla 4.2 y en el Anexo 10.

**Tabla 4.2 Concentración total de mercurio en muestras de sedimentos**

Punto	Fecha	Hora	Sitio	COORDENADAS		Altura aprox. (m)	Concentración Total (µg/kg)
				NORTE (m)	ESTE (m)		
1	05/07/2006	7:55:00	Bella Rica Parte Alta	9660134	644083	976	10,34
2	05/07/2006	11:40:00	Bella Rica Parte Alta	9659859	644187	911	5,96
3	07/07/2006	18:20:00	Bella Rica Parte Media	9660416	643439	756	17,36
4	07/07/2006	18:50:00	Bella Rica Parte Media	9661404	643159	481	13,50
5	08/07/2006	16:50:00	Piscina de Oxidación	9661305	642773	433	10,00
6	08/07/2006	16:50:00	Piscina de Oxidación	9661305	642773	433	257,48
7	10/07/2006	6:14:00	Piscina de Oxidación	9661281	642735	419	115,94
8	10/07/2006	11:35:00	Piscina de Oxidación	9661266	642663	419	140,84
9	10/07/2006	12:20:00	Piscina de Oxidación	9661225	642756	451	16,48
10	11/07/2006	13:20:00	Piscina de Oxidación	9661225	642756	451	30,16
11	12/07/2006	14:20:00	Piscina de Oxidación	9661225	642756	451	8,60
12	11/07/2006	7:05:00	Bella Rica Parte Baja	9661811	640768	43	8,94
13	11/07/2006	7:05:00	Bella Rica Parte Baja	9661811	640768	43	7,36
14	11/07/2006	9:45:00	Bella Rica Parte Baja	9661888	640734	65	132,94
15	12/07/2006	8:30:00	Bella Rica Parte Baja	9661805	640946	62	4,38
16	13/07/2006	9:30:00	Bella Rica Parte Baja	9661805	640946	62	4,74
17	13/07/2006	12:45:00	Bella Rica Parte Baja	9661843	639793	40	3,16
18	13/07/2006	14:25:00	Río Siete	9660302	638704	20	440,76
19	13/07/2006	13:10:00	Río Nueve	9660547	638843	22	10,88
20	13/07/2006	12:27:00	Chanchas Kelly	9661743	640095	53	27,72
21	25/06/2006	12:10:00	Bella Rica Parte Baja	9661888	640734	65	9,82

### 4.1.2 Nambija

#### a.) AGUA

Los resultados de los análisis de las muestras de agua tomadas en Nambija se presentan en la Tabla 4.3 y en el Anexo 11.

**Tabla 4.3 Concentración total de mercurio en muestras de agua**

Punto	Fecha	Hora	Sitio	COORDENADAS		Altura aprox. (m)	Concentración Total (µg/L)
				NORTE (m)	ESTE (m)		
1	30/01/2007	9:30:00	Riachuelo	9549830	745334	1824	1,13
2	30/01/2007	9:30:00	Riachuelo	9549830	745334	1824	3,17
3	30/01/2007	9:30:00	Riachuelo	9549830	745334	1824	3,57
4	30/01/2007	11:26:00	Quebrada 1	9551935	744789	1425	1,43
5	30/01/2007	12:00:00	Quebrada 2 (Camino de herradura)	9552400	744816	1454	0,19
6	30/01/2007	12:30:00	Quebrada 3	9553141	744187	1277	0,14
7	30/01/2007	12:45:00	Quebrada 4	9553528	743993	1257	0,3
8	30/01/2007	13:15:00	Quebrada 5	9554252	743652	1190	1,61
9	30/01/2007	13:15:00	Quebrada 5	9554252	743652	1190	29,84
10	30/01/2007	13:15:00	Quebrada 5	9554252	743652	1190	3,08
11	30/01/2007	14:00:00	Quebrada 6	9555157	742213	1051	2,35
12	30/01/2007	15:30:00	Quebrada 7 y Río Nambija	9555210	742000	1040	0,54
13	30/01/2007	15:30:00	Quebrada 7 y Río Nambija	9555210	742000	1040	0,9
14	31/01/2007	9:20:00	Quebrada 1.1	9550808	742316	1294	0,51
15	31/01/2007	9:35:00	Playas de Nambija	9550770	742366	1305	3,29
16	31/01/2007	10:15:00	Río Nambija agua abajo	9553627	741742	1122	0,81
17	31/01/2007	10:35:00	Quebrada 1.2	9554156	741729	1090	0,23
18	31/01/2007	10:45:00	Río Nambija antes de Zamora	9556705	741809	975	0,46
19	31/01/2007	10:58:00	Gabarra	9562271	739221	854	0,09
20	31/01/2007	10:58:00	Gabarra	9562271	739221	854	0,57

## b.) SEDIMENTOS

Los resultados del análisis de mercurio en sedimentos de esta localidad se presentan en la Tabla 4.4 y en el Anexo 12.

**Tabla 4.4 Concentración total de mercurio en muestras de sedimentos**

Punto	Fecha	Hora	Sitio	COORDENADAS		Altura aprox. (m)	Concentración Total (µg/kg)
				NORTE (m)	ESTE (m)		
1	30/01/2007	9:30:00	Inicio Río Nambija	9549830	745334	1824	256,88
2	30/01/2007	9:30:00	Inicio Río Nambija	9549830	745334	1824	1,25
3	30/01/2007	9:30:00	Inicio Río Nambija	9549830	745334	1824	49,25
4	30/01/2007	10:24:00	Gradas de Nambija	9549863	745591	1879	0,50
5	30/01/2007	11:26:00	Quebrada 1	9551935	744789	1425	62,22
6	30/01/2007	12:00:00	Quebrada 2 (Camino de herradura)	9552400	744816	1454	44,48
7	30/01/2007	12:00:00	Quebrada 2 (Camino de herradura)	9552400	744816	1454	70,07
8	30/01/2007	12:30:00	Quebrada 3	9553141	744187	1277	49,25
9	30/01/2007	12:45:00	Quebrada 4	9553528	743993	1257	0,48
10	30/01/2007	13:15:00	Quebrada 5	9554252	743652	1190	27,45
11	30/01/2007	13:15:00	Quebrada 5	9554252	743652	1190	4,30
12	30/01/2007	13:15:00	Quebrada 5	9554252	743652	1190	67,81
13	30/01/2007	14:00:00	Quebrada 6	9555157	742213	1051	39,53
14	30/01/2007	15:30:00	Río Campanas	9555210	742000	1040	15,54
15	30/01/2007	15:30:00	Río Campanas	9555210	742000	1040	53,11
16	31/01/2007	9:20:00	Quebrada 1.1	9550808	742316	1294	23,66
17	31/01/2007	9:20:00	Quebrada 1.1	9550808	742316	1294	60,14
18	31/01/2007	9:35:00	Playas de Nambija	9550770	742366	1305	49,18
19	31/01/2007	10:15:00	Río Nambija agua abajo	9553627	741742	1122	246,95
20	31/01/2007	10:35:00	Quebrada 1.2	9554156	741729	1090	23,44
21	31/01/2007	10:45	Río Nambija antes de Zamora	9556705	741809	975	35,72
22	31/01/2007	10:58:00	Gabarra	9562271	739221	854	9,32
23	31/01/2007	10:58:00	Gabarra	9562271	739221	854	73,81

### 4.1.3 Portovelo-Zaruma

#### a.) AGUA

Los resultados de las muestras analizadas para determinar las concentraciones de mercurio se presentan en la Tabla 4.5 y en el Anexo 13.

**Tabla 4.5 Concentración total de mercurio en muestras de agua**

Punto	Fecha	Hora	Sitio	COORDENADAS		Altura aprox. (m)	Concentración Total (µg/L)
				NORTE (m)	ESTE (m)		
1	08/01/2007	14:05:00	Aguas Termales	9590515	655897	539	8,59
2	08/01/2007	14:05:00	Aguas Termales	9590515	655897	539	0,03
3	08/01/2007	14:56:00	Río Amarillo	9590947	656011	696	0,49
4	09/01/2007	10:00:00	Puente de Madera	9591133	656178	688	3,25
5	09/01/2007	10:00:00	Puente de Madera	9591133	656178	688	1,02
6	09/01/2007	10:31:00	Quebrada baja Zaruma	9590856	655892	689	14,89
7	09/01/2007	11:20:00	El Obrero	9588690	653112	635	0,28
8	10/01/2007	8:46:00	Río Amarillo Junto al Río Calera	9588153	651796	597	2,37
9	10/01/2007	11:28:00	Río Calera cerca de juntarse	9588371	651844	602	10,87
10	01/01/1900	9:20:00	Unión Río Amarillo y Calera	9586847	651104	581	6,24
11	11/01/2007	9:50:00	Cerca del Río Pindo	9583547	650535	543	0,03
12	11/01/2007	10:15:00	Río Pindo	9583613	650573	538	0,03
13	11/01/2007	11:00:00	Río Calera cerca de Chanchas	9589067	651999	595	0,03
14	11/01/2007	11:00:00	Río Calera cerca de Chanchas	9589067	651999	595	0,03
15	11/01/2007	12:00:00	Río Calera cercas de puente BUSA	9591010	651832	637	2,95
16	10/01/2007	14:30:00	Camino a Zaruma Vía Busa	9596966	650283	778	7,79
17	10/01/2007	14:45:00	Río Arcapamba	9596646	652894	1015	0,20
18	11/01/207	14:37:00	Canaleta cerca de chanchas	9589675	652092	623	24,57
19	11/01/2007	15:38:00	Chanchas Río Calera	9588774	652999	605	1812,50
20	11/01/2007	15:38:00	Chanchas Río Calera	9588774	652999	605	0,42
21	11/01/2007	15:38:00	Chanchas Río Calera	9588774	652999	605	0,36
22	11/01/2007	18:17:00	Subiendo a Zaruma	9592455	659320	1048	0,50

## b.) SEDIMENTOS

Los resultados en donde se indican las concentraciones de cada una de las muestras analizadas para esta localidad, se presentan en la Tabla 4.6 y en el Anexo 14.

**Tabla 4.6 Concentración total de mercurio en muestras de sedimentos**

Punto	Fecha	Hora	Sitio	COORDENADA S		Altura aprox. (m)	Concentración Total (µg/kg)
				NORTE (m)	ESTE (m)		
1	08/01/2007	14:05:00	Aguas Termales	9590515	655897	539	19,22
2	08/01/2007	14:05:00	Aguas Termales	9590515	655897	539	7,56
3	08/01/2007	14:56:00	Río Amarillo	9590947	656011	696	50,87
4	09/01/2007	9:00:00	Puente Amarillo	9591419	656291	700	72,67
5	09/01/2007	10:00:00	Puente de Madera	9591133	656178	688	28,07
6	09/01/2007	10:00:00	Puente de Madera	9591133	656178	688	78,22
7	09/01/2007	10:31:00	Quebrada baja Zaruma	9590856	655892	689	85,77
8	09/01/2007	11:20:00	El Obrero	9588690	653112	635	5,52
9	10/01/2007	8:46:00	Río Amarillo Junto al Río Calera	9588153	651796	597	2,41
10	10/01/2007	11:28:00	Río Calera cerca de juntarse	9588371	651844	602	11,02
11	10/01/2007	9:20:00	Unión Río Amarillo y Calera	9586847	651104	581	4,94
12	11/01/2007	9:50:00	Cerca del Río Pindo	9583547	650535	543	20,79
13	11/01/2007	10:15:00	Río Pindo	9583613	650573	538	6,83
14	11/01/2007	11:00:00	Río Calera cerca de Chanchas	9589067	651999	595	133,25
15	11/01/2007	11:00:00	Río Calera cerca de Chanchas	9589067	651999	595	25,59
16	11/01/2007	11:00:00	Río Calera cerca de Chanchas	9589067	651999	595	48,83
17	11/01/2007	12:00:00	Río Calera cercas de puente BUSA	9591010	651832	637	83,59
18	10/01/2007	14:30:00	Camino a Zaruma Vía Busa	9596966	650283	778	76,77
19	10/01/2007	14:45:00	Río Arcapamba	9596646	652894	1015	3,93
20	11/01/2007	14:37:00	Pache	9589675	652092	623	1,18
21	11/01/2007	15:38:00	Chanchas Río Calera	9588774	652999	605	33,61
22	11/01/2007	15:38:00	Chanchas Río Calera	9588774	652999	605	177,54
23	11/01/2007	15:38:00	Chanchas Río Calera	9588774	652999	605	398,21
24	11/01/2007	15:38:00	Chanchas Río Calera	9588774	652999	605	28,81

## 4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.2.1 Ponce Enríquez (Bella Rica)

#### a.) AGUA

Los valores de concentraciones de mercurio en aguas se encuentran entre 1,90 y 47,88  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 4.1) e indican un grado de perturbación antropogénica<sup>99</sup> muy severa (Tabla 4.7).

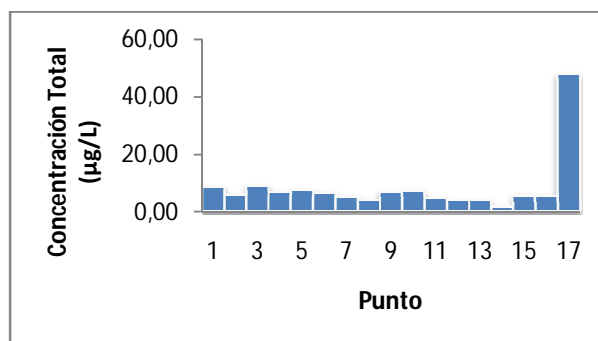


Figura 4.1 Concentración total de mercurio en muestras de agua

Tabla 4.7 Grado de perturbación por muestra

Punto	Concentración / Valor de Fondo	Grado de Perturbación
1	1112,82	Perturbación Muy Severa
2	761,54	Perturbación Muy Severa
3	1141,03	Perturbación Muy Severa
4	869,23	Perturbación Muy Severa
5	976,92	Perturbación Muy Severa
6	841,03	Perturbación Muy Severa
7	679,49	Perturbación Muy Severa
8	515,38	Perturbación Muy Severa
9	897,44	Perturbación Muy Severa
10	923,08	Perturbación Muy Severa
11	597,44	Perturbación Muy Severa
12	515,38	Perturbación Muy Severa
13	515,38	Perturbación Muy Severa
14	243,59	Perturbación Muy Severa
15	733,33	Perturbación Muy Severa
16	705,13	Perturbación Muy Severa
17	6138,46	Perturbación Muy Severa

Se presenta en la Figura 4.2 las concentraciones obtenidas en función de las distancias recorridas para cada punto. Para Ponce Enríquez es factible hacer de todas las muestras y vemos la distribución de la concentración a lo largo de los puntos muestreados.

<sup>99</sup> PRODEMİNCA, Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998



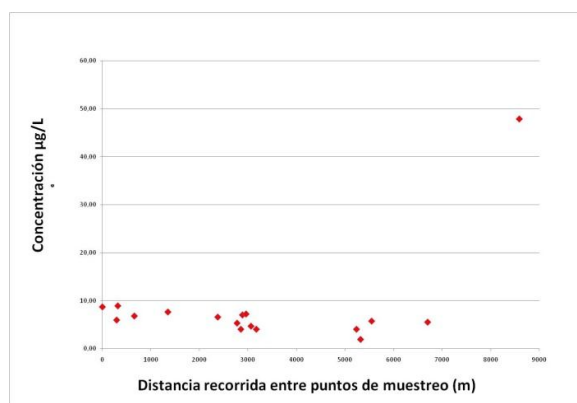


Figura 4.2 Concentración en función de las distancias para aguas

De igual manera, es evidente que todas las concentraciones sobrepasan el límite permisible para agua de consumo humano o de uso doméstico determinada en el TULAS<sup>100</sup> (1 µg/L).

En la parte alta de Bella Rica, donde existe el asentamiento minero, las concentraciones de mercurio están entre 8 y 5 µg/L y estos resultados reflejan las concentraciones de mercurio contenidas en las colas que dichas plantas descargan a los cuerpos de agua cercanos.

Por otro lado, en la zona de la Piscina de Oxidación (Foto 4.1), el mercurio que contiene el agua no presenta valores muy elevados debido a que existe una corriente pequeña (movilización) que, a pesar de acumular agua en la piscina y permitir el depósito de mercurio en sedimentos, permite un permanente flujo evitando el desborde de la piscina. La colocación de geomembrana como fondo de la piscina para evitar el infiltramiento al suelo de cualquier elemento depositado es importante y necesario.



<sup>100</sup> *Texto Unificado de Legislación Ambiental*, Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes

Foto 4.1 Piscina de oxidación

La muestra número 17 (que corresponde a la parte baja del Cerro Bella Rica, cerca del Río Siete), presenta una concentración de mercurio considerablemente más alta que las otras muestras. Fue tomada en las riberas del Río Siete que es considerado por varios estudios como uno de los ríos más contaminados con metales pesados<sup>101</sup> (Foto 4.2) y demuestra que no solo existe presencia de Hg en las zonas cercanas a la fuente de emisión (en este caso a las plantas de beneficio), sino también que, a casi 8 Km. de distancia, hay una presencia significativa de mercurio en aguas.



Foto 4.2 Riberas del río Siete

Los resultados de las concentraciones de mercurio en la piscina de tilapias (Muestra 15 y Foto 4.3) en la parte baja del Cerro Bella Rica, así como en el Río Guanache (Muestra 13 y Foto 4.4), tienen valores más bajos, en relación al resto de muestras (entre 4 y 5  $\mu\text{g/L}$ ), pero aún altos en comparación con el valor de fondo y con el límite permisible del TULAS para aguas de consumo humano y uso doméstico.



<sup>101</sup> PRODEMINCA, Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998

Foto 4.3 Piscina de tilapias



Foto 4.4 Río Guananche

### b.) SEDIMENTOS

Según los resultados obtenidos, la concentración más alta la tiene la muestra 18 con 440,76  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , mientras que la concentración más baja detectada es la de la muestra 17 con 3,16  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (Fig. 4.3).

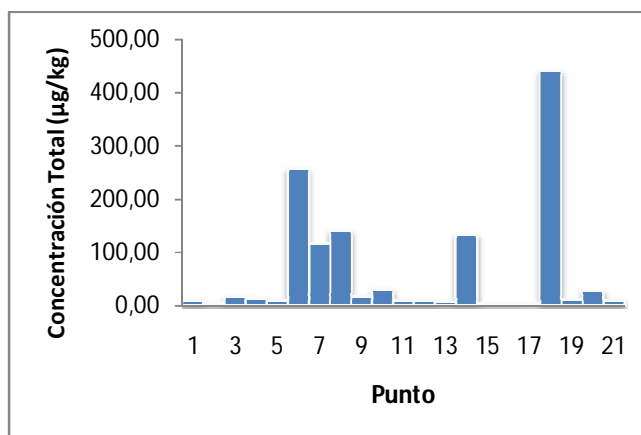
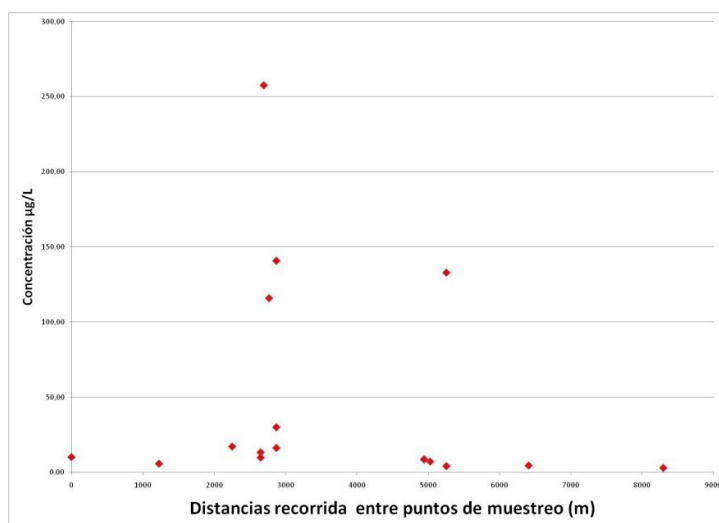


Figura 4.3: Concentración total de mercurio en muestras de sedimentos

Se presenta además en la Figura 4.4 las concentraciones en función de las distancias recorridas entre los puntos de muestreo y se puede ver la variación dependiendo del sitio de muestreo y la distancia a la fuente emisión. Para las muestras tomadas en Ponce Enríquez se puede hacer este gráfico tomando en cuenta todas las muestras ya que el muestreo fue secuencial.



**Figura 4.4: Concentración en función de las distancias para sedimentos**

Las concentraciones encontradas en años anteriores por el Proyecto PRODEMİNCA en este sector, indicaban una presencia de mercurio en concentraciones de entre 130 a 1100 µg/kg, con un valor promedio de 460 µg/kg (con excepción de la concentración media de Hg en el Río Siete que dice ser de entre 1000-3000 µg/kg), pero se explica que con el pasar de los años y el cambio de amalgamación por cianuración, se ha producido una baja en las concentraciones de mercurio en los sedimentos atribuida también al paso de fenómenos naturales como el del Niño que según indican, puede producir un “lavado” o movilización de los depósitos de los ríos que poseían grandes cantidades de mercurio<sup>102</sup>. Si se toma en cuenta estas explicaciones, se puede justificar los valores resultantes de las concentraciones, su variabilidad dependiendo del sitio de muestreo, así como la variación en el cálculo de la perturbación antropogénica indicada en la Tabla 4.8, de donde se obtiene que no existen muestras con perturbaciones muy severas.

Es necesario anotar también que en el Ecuador no existe una normativa que regule los máximos permisibles de mercurio en sedimentos.

<sup>102</sup> PRODEMİNCA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998, Capítulo 6.

Tabla 4.8 Grado de perturbación por muestra

Punto	Concentración / Valor de Fondo	Grado de Perturbación
1	0,22	Perturbación Insignificante
2	0,12	Perturbación Insignificante
3	0,36	Perturbación Insignificante
4	0,28	Perturbación Insignificante
5	0,21	Perturbación Insignificante
6	5,36	Perturbación Severa
7	2,42	Perturbación Evidente
8	2,93	Perturbación Evidente
9	0,34	Perturbación Insignificante
10	0,63	Perturbación Insignificante
11	0,18	Perturbación Insignificante
12	0,19	Perturbación Insignificante
13	0,15	Perturbación Insignificante
14	2,77	Perturbación Evidente
15	0,09	Perturbación Insignificante
16	0,10	Perturbación Insignificante
17	0,07	Perturbación Insignificante
18	9,18	Perturbación Severa
19	0,23	Perturbación Insignificante
20	0,58	Perturbación Insignificante
21	0,20	Perturbación Insignificante

#### 4.2.2 Nambija

##### a.) AGUA

Las concentraciones de mercurio en aguas de este sector se encuentran entre 0,09 y 29,84  $\mu\text{g/L}$  (Fig. 4.5). Esta variabilidad en las concentraciones puede justificarse, si se toma en cuenta que el muestreo fue realizado en algunas quebradas que desembocan en el Río Nambija y que acarrean concentraciones variadas dependiendo de las actividades predominantes en las fuentes de emisión.

Los valores de concentraciones determinados además son similares a los valores presentados por el Proyecto PRODEMINCA en la Quebrada Calixto (Foto 4.5) que estaban en el rango entre 0,07 y 0,24  $\mu\text{g/L}$  para los años en los que se realizaron las mediciones a pesar de que en esos años y en esos muestreos, no encontraron concentraciones tan altas como la de 29,84  $\mu\text{g/L}$ .

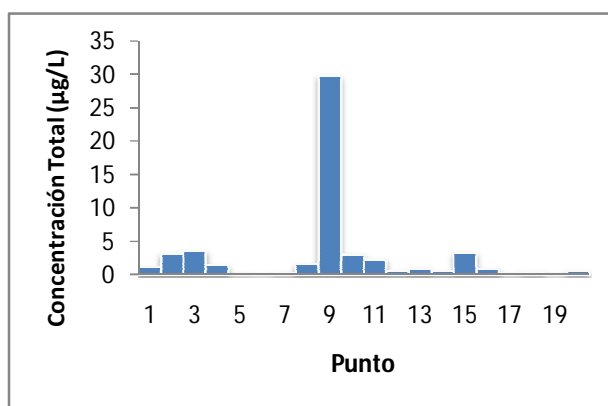


Figura 4.5 Concentración total de mercurio en muestras de sedimentos

En la Figura 4.6 se presenta la concentración en función de las distancias recorridas entre los puntos uno y trece, para poder visualizar las concentraciones a lo largo de una quebrada, en este caso de la Quebrada Calixto. Se puede hacer este mismo gráfico para el resto de quebradas para tener una idea de la concentración de mercurio según la cercanía entre los sitios de muestreo y las fuentes puntuales de emisión.

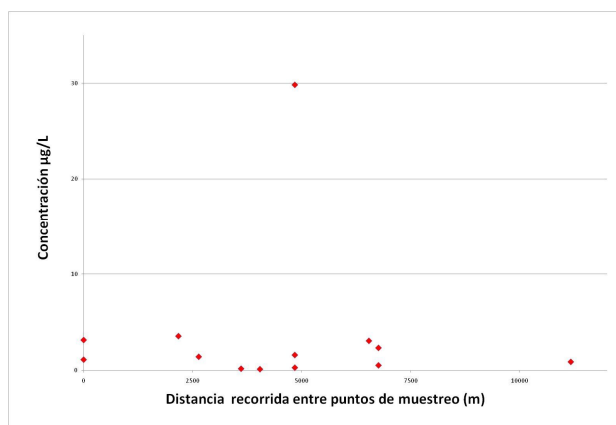


Figura 4.6 Concentración en función de las distancias para aguas



Foto 4.5 Quebrada Calixto

A excepción de una, todas las muestras presentan valores por sobre los los valores máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico indicados en el TULAS ( $1 \mu\text{g/L}$ )<sup>103</sup>.

La muestra 9 es la que mayor concentración de mercurio presenta ( $29,84 \mu\text{g/L}$ ), y se debe a que muy cerca de esta quebrada se producen descargas de plantas procesadoras de oro, sin embargo, estas altas concentraciones no se reflejan en las encontradas en el Río Nambija (Foto 4.6) porque, al tener un caudal diez veces mayor a las quebradas circundantes, la concentración de mercurio disminuye gracias a la mezcla entre aguas con altas y bajas concentraciones. Si se compara los resultados con los valores de fondo del Proyecto PRODEMİNCA ( $0,074 \mu\text{g/L}$ ), se puede ver una variabilidad entre los grados de perturbación antropogénica, encontrándose perturbaciones muy severas, severas, evidentes y tan solo una insignificante (la concentración menor de  $0,09 \mu\text{g/L}$ ) como se indica en la Tabla 4.9. De todas formas las concentraciones también sobrepasan los valores límite indicados en uso del agua para consumo humano.

**Tabla 4.9 Grado de perturbación por muestra**

Punto	Concentración / Valor de Fondo	Grado de Perturbación
1	15,27	Perturbación Muy Severa
2	42,84	Perturbación Muy Severa
3	48,24	Perturbación Muy Severa
4	19,32	Perturbación Muy Severa
5	2,57	Perturbación Evidente
6	1,89	Perturbación Evidente
7	4,05	Perturbación Severa
8	21,76	Perturbación Muy Severa
9	403,24	Perturbación Muy Severa
10	41,62	Perturbación Muy Severa
11	31,76	Perturbación Muy Severa
12	7,30	Perturbación Severa
13	12,16	Perturbación Muy Severa
14	6,89	Perturbación Severa
15	44,46	Perturbación Muy Severa
16	10,95	Perturbación Muy Severa
17	3,11	Perturbación Severa
18	6,22	Perturbación Severa
19	1,22	Perturbación Insignificante
20	7,70	Perturbación Severa

<sup>103</sup> *Texto Unificado de Legislación Ambiental*, Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes



Foto 4.6 Río Nambija

## b.) SEDIMENTOS

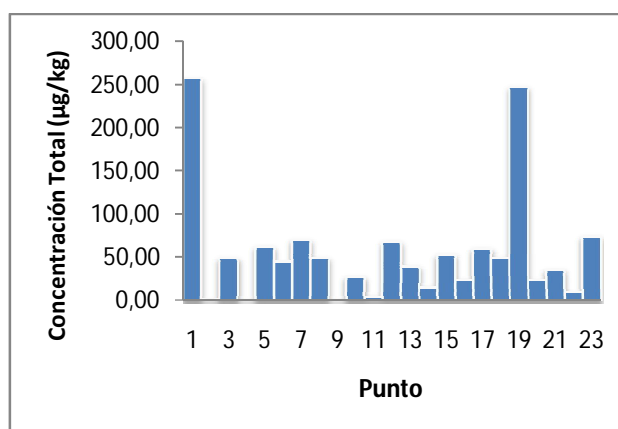


Figura 4.7 Concentración total de mercurio en muestras de sedimentos

Las concentraciones de mercurio se encuentran entre 0,48 y 256,88  $\mu\text{g}/\text{kg}$  como se indica en la Figura 4.7, en donde se puede ver valores altos en las concentraciones de las muestras 1 y 19.

Se presenta en la Figura 4.8 la concentración de las muestras en función de la distancia recorrida entre los puntos de muestreo del uno al trece. Solo se tomó estos puntos debido a que se encuentran a lo largo de una sola quebrada como se puede ver en el mapa anexo. Para el resto de puntos y quebradas también se puede hacer este gráfico que puede ser útil para identificar puntos focales de emisión de mercurio o sitios en donde las concentraciones presentan un incremento importante.



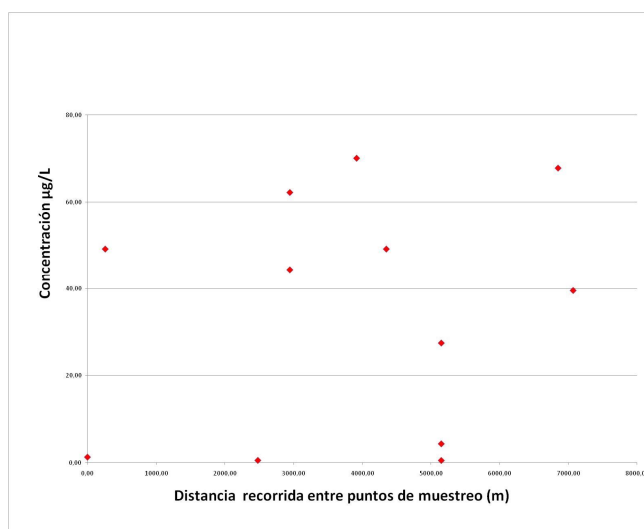


Figura 4.8: Concentración en función de las distancias para sedimentos

La muestra 1 tiene una alta concentración de mercurio debido a que fue tomada en la Quebrada Calixto en el asentamiento minero de Nambija (Foto 4.5) y se atribuye a la acumulación de Hg por varios años producto de actividades mineras. Si este valor se lo compara con los resultados obtenidos por el Proyecto PRODEMINCA en esta misma quebrada (5000 a 10000 µg/kg) se ve claramente que la concentración de mercurio ha disminuído notablemente.

En el caso de la muestra 19, esta fue tomada en el Río Nambija aguas abajo de un sector donde se utiliza el mercurio en la amalgamación (Foto 4.7).



Foto 4.7 Río Nambija aguas abajo

La concentración de mercurio en aguas en este mismo punto de muestreo (Muestra 16 de aguas) es bastante baja lo que explicaría una adsorción de mercurio en los sedimentos a lo largo de varios años.

En los sedimentos del Río Nambija en el estudio de agosto de 1997, hay concentraciones de Hg dentro del intervalo de 2000-4000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ <sup>104</sup>, lo que quiere decir que en el transcurso de los años, estos valores van disminuyendo paulatinamente si lo comparamos con la concentración determinada en este mismo río de 246,95  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

Se debe notar que el valor de fondo para Hg en los sedimentos del área Nambija presentados en el Proyecto PRODEMICA, es tres veces mayor que, por ejemplo, en el área Ponce Enríquez (150  $\mu\text{g}/\text{kg}$  contra 48  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ).

El Proyecto PRODEMICA no explica si esta variación refleja realmente la diferente composición de la roca madre entre cada sitio o si los valores de fondo provienen de muestras muy contaminadas en Nambija o si el volumen de actividades mineras en Nambija es mayor que en los otros sitios.

En todo caso, este valor de fondo entrega resultados que indican que únicamente las dos concentraciones altas antes mencionadas son las que presentan una perturbación evidente como se puede ver en la Tabla 4.10, mientras que el resto de concentraciones tienen una perturbación antropogénica insignificante. Esto no necesariamente indica que no exista una presencia de actividades humanas que haya alterado las condiciones ambientales ideales de esta zona, sino que simplemente el valor de fondo para este sector es mucho más alto.

Para este muestreo no se han determinado valores de fondo propios debido a que uno de los objetivos principales era comparar con resultados obtenidos por el Proyecto PRODEMICA en años anteriores con el fin de determinar si todavía existe presencia de mercurio en aguas y sedimentos.

---

<sup>104</sup> PRODEMICA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998, Capítulo 6.

Tabla 4.10 Grado de perturbación por muestra

Punto	Concentración / Valor de Fondo	Grado de Perturbación
1	1,71	Perturbación Evidente
2	0,01	Perturbación Insignificante
3	0,33	Perturbación Insignificante
4	0,00	Perturbación Insignificante
5	0,41	Perturbación Insignificante
6	0,30	Perturbación Insignificante
7	0,47	Perturbación Insignificante
8	0,33	Perturbación Insignificante
9	0,00	Perturbación Insignificante
10	0,18	Perturbación Insignificante
11	0,03	Perturbación Insignificante
12	0,45	Perturbación Insignificante
13	0,26	Perturbación Insignificante
14	0,10	Perturbación Insignificante
15	0,35	Perturbación Insignificante
16	0,16	Perturbación Insignificante
17	0,40	Perturbación Insignificante
18	0,33	Perturbación Insignificante
19	1,65	Perturbación Evidente
20	0,16	Perturbación Insignificante
21	0,24	Perturbación Insignificante
22	0,06	Perturbación Insignificante
23	0,49	Perturbación Insignificante

### 4.2.3 Portovelo-Zaruma

#### a.) AGUA

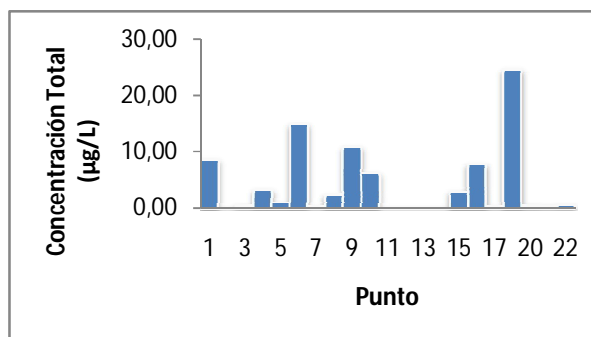
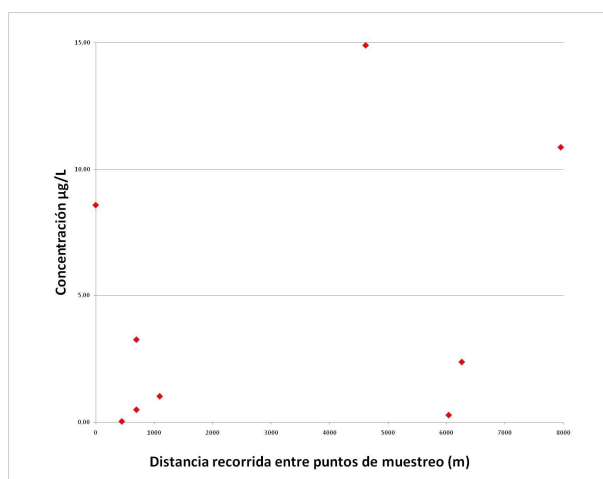


Figura 4.9 Concentración Total de Mercurio en Muestras de Agua

Como se puede ver en la Figura 4.9, las concentraciones de mercurio para este sector se hallan en el rango entre 0,003 y 1812,50 µg/L. Quiere decir que algunas de las concentraciones, y dependiendo de los sitios de muestreo, están por debajo inclusive del

límite máximo permisible para aguas de consumo humano y uso doméstico determinado en el TULAS que es de  $1 \mu\text{g/L}$ , a pesar de que en el Proyecto PRODEMİNCA se indica que se ha erradicado toda forma de vida superior y que es imposible el uso de esta agua para consumo humano e irrigación<sup>105</sup>. Esta disminución de concentración de mercurio podría explicarse con el paso de fenómenos climáticos que tienen un efecto de limpieza de cualquier contaminante así como la ausencia de fuentes de emisión de mercurio cercanas a la mayoría de puntos de muestreo.



**Figura 4.10** Concentración en función de las distancias para aguas

Se presenta además en la Figura 4.10 las concentraciones en función de las distancias de muestreo entre los puntos del uno al nueve, debido a que estas muestras se encuentran a lo largo del río Amarillo y puede dar una idea en los puntos en los que se producen incrementos explicables de concentraciones de mercurio y sus fuentes de emisión.

En sitios como las aguas termales (Foto 4.7) o el Río Amarillo (Foto 4.8), las concentraciones de mercurio son relativamente bajas posiblemente a la distancia entre las actividades y estos sitios de muestreo.

<sup>105</sup> PRODEMİNCA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998, Capítulo 6.



Foto 4.7 Aguas termales



Foto 4.8 Río Amarillo aguas abajo

En la unión del Río Amarillo y el Río Caleras puede notarse claramente el arrastre de sólidos en suspensión que incrementa las concentraciones de mercurio en las muestras 9 y 10 (Foto 4.9).



Foto 4.9 Unión del río Caleras (Izq.) con el río Amarillo (Der.)

El valor más alto es el de la muestra 19 tomada en las chanchas del Río Caleras (Foto 4.10). Aquí es donde más se trabaja con el proceso de amalgamación (Foto 4.11) y es

por ello que la concentración de mercurio en el agua de este sector es bastante alta comparada con el resto de muestras (Foto 4.12).



Foto 4.10 Río Caleras aguas abajo



Foto 4.11 Amalgamación junto al río Caleras



Foto 4.12 Chanchas junto al Río Caleras

El valor de fondo determinado en el Proyecto PRODEMINCA es 0,005  $\mu\text{g/L}$  por lo que si se determina el grado de perturbación, se obtienen resultados de perturbaciones entre

severas y muy severas que indican, en parte, la degradación del ambiente en este sector con una presencia importante de mercurio en aguas (Tabla 4.11).

Tabla 4.11 Grado de perturbación por muestra

Punto	Concentración / Valor de Fondo	Grado de Perturbación
1	1718,00	Perturbación Muy Severa
2	6,00	Perturbación Severa
3	98,00	Perturbación Muy Severa
4	650,00	Perturbación Muy Severa
5	204,00	Perturbación Muy Severa
6	2978,00	Perturbación Muy Severa
7	56,00	Perturbación Muy Severa
8	474,00	Perturbación Muy Severa
9	2174,00	Perturbación Muy Severa
10	1248,00	Perturbación Muy Severa
11	6,00	Perturbación Severa
12	6,00	Perturbación Severa
13	6,00	Perturbación Severa
14	6,00	Perturbación Severa
15	590,00	Perturbación Muy Severa
16	1558,00	Perturbación Muy Severa
17	40,00	Perturbación Muy Severa
18	4914,00	Perturbación Muy Severa
19	362500,00	Perturbación Muy Severa
20	84,00	Perturbación Muy Severa
21	72,00	Perturbación Muy Severa
22	100,00	Perturbación Muy Severa

## b.) SEDIMENTOS

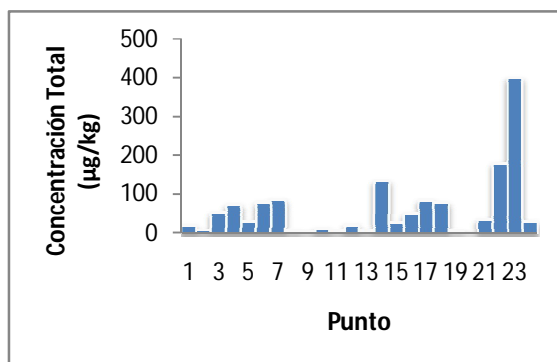
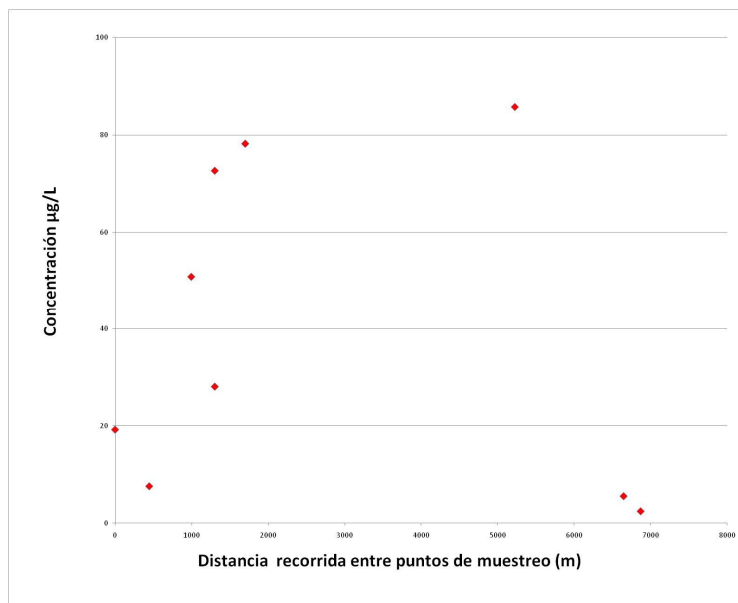


Figura 4.11 Concentración total de mercurio en muestras de sedimentos

La Figura 4.11 indica un rango de concentraciones de mercurio entre 1,18 y 398,21  $\mu\text{g}/\text{kg}$  que contrasta significativamente con las concentraciones encontradas en el Proyecto PRODEMİNCA en 1996 y en 1997, las cuales variaron generalmente entre 1000 a 5000  $\text{mg}/\text{kg}$  (20 a 90 veces el valor de fondo de 55  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). En mayo del 98, sin embargo, después del efecto de limpieza de El Niño, los niveles fueron generalmente mucho menores, de 50 a 30<sup>106</sup>.

Se indican en la figura 4.12 las concentraciones en función de las distancias recorridas entre los puntos de muestreo uno y nueve que recorren las orillas del río Amarillo. Esta figura nos indica los puntos en donde las concentraciones para este río se incrementan y permite visualizar mejor el incremento en fuentes puntuales de emisión de mercurio.



**Figura 4.12: Concentración en función de las distancias para sedimentos**

La variabilidad de las concentraciones de mercurio en sedimentos de este sector se debe a que las muestras fueron tomadas en varios sitios, de diferentes características (Foto 4.13) y en donde, en algunos, las actividades mineras (amalgamación) son cercanas y claramente identificables.

<sup>106</sup> PRODEMİNCA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998, Capítulo 6.



En las uniones de los ríos se puede observar claramente la diferencia de color producida por los sólidos suspendidos en cada uno de ellos, lo que acrecienta la cantidad de mercurio depositado aguas abajo y que se ve reflejada en las concentraciones obtenidas.



Foto 4.13 Sedimentos en aguas termales

La muestra 23 es la que contiene mayor concentración de mercurio y se debe a que fue tomada en las “chanchas” junto al Río Caleras. Como se puede ver en la Foto 4.14, los sedimentos se acumulan en los costados del río y es justamente ahí donde el mercurio se deposita y se concentra. Además al estar junto a los procesos de amalgamación, es seguro que el mercurio se deposita en las áreas cercanas a estos lugares.



Foto 4.14 Sedimentos en el río Caleras

Los resultados de la Tabla 4.12 indican el grado de perturbación antropogénica y se puede ver que la mayoría de muestras presentan perturbaciones insignificantes. Esto no quiere decir que no existe una intervención humana que afecte al medio ambiente, sino

que comparado con otros sectores, la perturbación en este puede ser considerada aceptable.

**Tabla 4.12 Grado de perturbación por muestra**

<b>Punto</b>	<b>Concentración / Valor de Fondo</b>	<b>Grado de Perturbación</b>
1	0,35	Perturbación Insignificante
2	0,14	Perturbación Insignificante
3	0,92	Perturbación Insignificante
4	1,32	Perturbación Insignificante
5	0,51	Perturbación Insignificante
6	1,42	Perturbación Insignificante
7	1,56	Perturbación Evidente
8	0,10	Perturbación Insignificante
9	0,04	Perturbación Insignificante
10	0,20	Perturbación Insignificante
11	0,09	Perturbación Insignificante
12	0,38	Perturbación Insignificante
13	0,12	Perturbación Insignificante
14	2,42	Perturbación Evidente
15	0,47	Perturbación Insignificante
16	0,89	Perturbación Insignificante
17	1,52	Perturbación Evidente
18	1,40	Perturbación Insignificante
19	0,07	Perturbación Insignificante
20	0,02	Perturbación Insignificante
21	0,61	Perturbación Insignificante
22	3,23	Perturbación Severa
23	7,24	Perturbación Severa
24	0,52	Perturbación Insignificante

# CAPÍTULO V

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

#### 5.1.1 Generales

- Los valores de las concentraciones de mercurio en sedimentos son mucho mayores a las concentraciones en aguas, y esto se debe a que el mercurio es poco soluble en agua pero se une bastante bien a material particulado que posteriormente se deposita en los ríos.
- La presencia de mercurio en sedimentos es ventajosamente disminuida en los periódicos aparecimientos del Fenómeno de El Niño, que contribuyen a la limpieza de las cuencas hídricas por lixiviación.
- No existe una normativa dentro del TULAS que regule el límite máximo permisible para sedimentos, por lo que cada estudio que analiza casos mercurio en sedimentos debe basarse en algún estudio previo para poder comparar los resultados.
- Proyectos nacionales importantes con cooperación internacional como PRODEMİNCA, generaron importantes recomendaciones ambientales enfocadas a mejorar la tecnología de recuperación de oro, pero no pudieron eliminar técnicas tan simples y nocivas como la amalgamación, a pesar de que se dieron directivas claras en ese sentido.
- Para la realización de los mapas y la representación de cada punto muestreado y su respectiva concentración, resultó mejor trabajar con un modelo de interpolación de peso inverso por distancia (IDW por *Inverse Distance Weighted*) en lugar de un Spline o Kriging debido a es un modelo bueno por su poder discriminatorio para mapas temáticos y además de que visualmente resultó más comprensible que las otras interpolaciones.
- No resultó muy conveniente la representación de las concentraciones mediante formas de diferentes tamaños, con barras o con diagramas de pasteles debido a que los puntos de muestreo están muy unidos y la escala de visualización no permite distinguir claramente cada uno de ellos.

### 5.1.2 Ponce Enríquez

- Todas las muestras sobrepasan el límite permisible para aguas de consumo humano y uso doméstico establecido en el TULAS por lo que la contaminación con presencia de mercurio es evidente.
- La alta concentración de la muestra de agua 17 (47,88  $\mu\text{g/L}$ ), en la localidad de Ponce Enríquez (Río Siete), puede deberse a que es justamente en las partes bajas donde se depositan las partículas de mercurio que es quemado junto con el oro en los procesos de amalgamación en las partes altas del cerro y en los alrededores de la parte baja.
- En la piscina de tilapias si se encontraron concentraciones de mercurio que posiblemente están siendo bioaumentadas con el consiguiente perjuicio para los que consumen ese pez.
- El cambio de amalgamación por cianuración ha producido una baja en las concentraciones de mercurio en los sedimentos pero esta disminución es atribuída también al paso de fenómenos naturales como el del Niño que según indican en PRODEMINCA, puede producir un “lavado” o movilización de los depositos de los ríos que poseían grandes cantidades de mercurio
- Los valores de concentraciones de sedimentos, en la parte baja del cerro Bella Rica son variados y se debe a que en estos sitios se dan varias actividades mineras y no mineras.
- El valor más alto de concentración de mercurio en sedimentos esta dentro de la parte baja del cerro y es la de la muestra del Río Siete (440,76  $\mu\text{g/kg}$ ), que es conocido por su contaminación no solo con mercurio. Comparando con el rango entre 1000 y 3000  $\mu\text{g/kg}$  medidos en el Proyecto PRODEMINCA, se concluye que existe una disminución de la cantidad de mercurio en los sedimentos con el transcurso de los años a pesar de que todavía en este sector, las concentraciones de mercurio siguen con valores relativamente altos.

### 5.1.3 Nambija

- Las concentraciones también sobrepasan los valores límite indicados en uso del agua para consumo humano por lo que se concluye que la contaminación por mercurio en esta zona es innegable.

- La diferencia entre una y otra concentración encontrada en las quebradas que abastecen al río Nambija puede deberse a las actividades que se realizan en las cercanías de cada una de ellas, es decir que disminuyen si los cauces de riachuelos que alimentan al río Nambija contienen mercurio que al unirse al cauce mayor se dispersa. Pero también puede aumentar si es que por las quebradas fluye agua que proviene de actividades mineras en donde se practica la amalgamación.
- Únicamente la muestra 9 tiene una concentración sobre la norma legal del TULAS y debido a su ubicación se puede concluir que dicha concentración se debe a la cercanía de actividades mineras en las que se quema la amalgama, sin embargo, estas altas concentraciones no se reflejan en las encontradas en el Río Nambija su caudal es mayor y se produce una mezcla de aguas.
- Se concluye que los valores de las concentraciones no son tan altos como en el estudio de PRODEMINCA debido al paso de los años pero que la presencia de mercurio es aún importante y deberá ser tomada en cuenta en otros estudios.
- La muestra 1 tienen una concentración alta de mercurio y este resultado puede ser el reflejo de muchos años de acumulación en los sedimentos y a la poca volatilización del mercurio en el agua debido a que la temperatura de la misma es baja.
- El mismo caso se presenta para la muestra 19 (246,95  $\mu\text{g}/\text{Kg}$ ) que fue tomada en el Río Nambija aguas abajo, donde todavía existen actividades mineras en los sitios cercanos a esta zona.
- Únicamente dos muestras se encuentran por encima del valor de fondo tomado para este sector, lo que no quiere decir que no esté presente el mercurio en las otras muestras si no que la perturbación es insignificante pero existente.

#### 5.1.4 Portovelo-Zaruma

- Existen muestras en las que las concentraciones de mercurio no sobrepasan los límites permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico pero este valor podría variar dependiendo de la época en la que se realicen los muestreos.
- Una de las muestras (número 19) tienen una concentración de mercurio de 1812,50  $\mu\text{g}/\text{L}$  lo que indica un valor altísimo y bastante inusual comparado con el resto de datos. La explicación podría ser una medición defectuosa en el equipo

de absorción atómica o posiblemente una exageradamente alta concentración en campo, que resulta posible dado que la muestra fue tomada en una de las Chanchas ubicadas en el río Calera en donde todavía se realiza la quema artesanal de amalgama con la respectiva liberación de mercurio.

- Existen varios sitios donde la quema de amalgama incide en la concentraciones de mercurio en aguas y el ejemplo más claro de esto es el Río Amarillo que esta un poco distante de aquellos sitios de producción pero que contiene mercurio en sus aguas.
- El valor de fondo determinado en el Proyecto PRODEMINCA es 0,005  $\mu\text{g/L}$  por lo que si se determina el grado de perturbación, obtenemos resultados de perturbaciones entre severas y muy severas que indican, en parte, la degradación del ambiente en este sector con una presencia importante de mercurio en aguas.
- Las concentraciones actuales son significativamente menores comparadas a los del Proyecto PRODEMINCA debido al paso de fenómenos climáticos o a la reducción en la utilización de amalgamación al pasarse al proceso de cianuración lo que trae otro tipo de contaminación no analizado en este proyecto.
- Se puede concluir que las muestras de sedimentos que fueron tomadas cerca de “chanchas” tienen un alto nivel de mercurio debido a que en los alrededores de las mismas se deposita el mercurio que es quemado para obtener el oro de la bola de amalgama.
- En Portovelo-Zaruma existen 150 plantas de procesamiento de las que solo una maneja adecuadamente sus residuos, en tres más puede considerarse un manejo aceptable de químicos y agua, y en las restantes, se requiere importantes mejoras de gestión operativa y ambiental.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Estudios relacionados al mercurio y su contaminación deben hacerse periódicamente debido a que el cambio de temporada influye definitivamente en la cantidad de mercurio que puede encontrarse en las muestras, es decir, que es necesario tomar en muy cuenta la época del año en la que se realiza el estudio por lo que se recomienda hacer estudios multitemporales.
- Se recomienda hacer un estudio puntual de cada sitio de muestreo, destinando los recursos necesarios como para hacer la determinación de las concentraciones de mercurio en el laboratorio de varias muestras del mismo sitio con el fin de tener una confiabilidad mayor de los resultados.
- La elaboración de talleres y charlas a los involucrados en el proceso de amalgamación es sumamente recomendable para intentar hacerles cambiar de mentalidad en lo que a temas de seguridad laboral y salud se refiere.
- Al momento de realizar la interpolación de los puntos con sus respectivas concentraciones, se recomienda probar con cada uno de los métodos de interpolación ya que cada uno puede ser útil dependiendo de los datos y el uso que se les vaya a dar a estos.

**ANEXOS**



# **ANEXO 1**

## **UBICACIÓN DE LAS PROVINCIAS DE ESTUDIO**

# **ANEXO 2**

## **UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO**

# **ANEXO 3**

## **UBICACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA DE PONCE ENRÍQUEZ**

# **ANEXO 4**

## **UBICACIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS DE PONCE ENRÍQUEZ**

**ANEXO 5**  
**UBICACIÓN DE**  
**MUESTRAS DE AGUA**  
**DE NAMBIJA**

# **ANEXO 6**

## **UBICACIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS DE NAMBIJA**

**ANEXO 7**  
**UBICACIÓN DE**  
**MUESTRAS DE AGUA**  
**DE PORTOVELO-**  
**ZARUMA**

**ANEXO 8**  
**UBICACIÓN DE**  
**MUESTRAS DE**  
**SEDIMENTOS DE**  
**PORTOVELO-**  
**ZARUMA**



**ANEXO 9**  
**CONCENTRACIONES**  
**DE MERCURIO EN**  
**AGUAS DE PONCE**  
**ENRÍQUEZ**

**ANEXO 10**  
**CONCENTRACIONES**  
**DE MERCURIO EN**  
**SEDIMENTOS DE**  
**PONCE ENRÍQUEZ**

**ANEXO 11**  
**CONCENTRACIONES**  
**DE MERCURIO EN**  
**AGUA DE NAMBIJA**

**ANEXO 12**  
**CONCENTRACIONES**  
**DE MERCURIO EN**  
**SEDIMENTOS DE**  
**NAMBIJA**

**ANEXO 13**  
**CONCENTRACIONES**  
**DE MERCURIO EN**  
**AGUA DE**  
**PORTOVELO-**  
**ZARUMA**

**ANEXO 14**  
**CONCENTRACIONES**  
**DE MERCURIO EN**  
**SEDIMENTOS DE**  
**PORTOVELO-**  
**ZARUMA**

# HOJAS TÉCNICAS

Concentración total de mercurio en muestras de Sedimentos (Portovelo)



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS**  
**OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS**



**LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL**  
**INFORME DE RESULTADOS**

**INF-LAB- QAM-9358**  
**ORDEN DE TRABAJO No 015372**

SOLICITADO POR:	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DIRECCIÓN:	LADRON DE GUEVARA E11-253
FECHA DE RECEPCION:	19-06-07
HORA DE RECEPCION:	09H17
MUESTRA DE:	SUELO
DESCRIPCION:	SUELODESCRITOS EN EL INFORME
FECHA DE ANALISIS:	19 a 25-06-07
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	26-06-07
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	CARACTERISTICO SUELO NEGRO
ESTADO:	SOLIDO
CONTENIDO:	1 KILO
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP

**INFORME**

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	*MERCURIO µg/kg	METODO
P14 SED 18	76.77	DIGESTION Y ABSORCION ATOMICA
P9 SED 11	4.94	
P4 SED 6	78.22	
P1 SED 4	72.67	
TIERRA DE CHANCADORA	177.54	
P6 SED 8	5.52	
P12 SED 15	25.59	
P5 SED 7	85.77	
P17 SED 21	33.61	
P12 SED 16	48.83	
P2 SED 2	7.56	
P7 SED 9	2.41	
P10 SED 12	20.79	
P17 SED 23	398.21	
P4 SED 5	28.07	
P2 SED 1	19.22	
P1 SED 3	50.87	
P15 SED 19	3.93	
P12 SED 14	133.25	
P13 SED 17	83.59	
P17 SED 24	28.81	
P8 SED 10	11.02	
P11 SED 13	6.83	
P3 SED 3	1.18	



(\*) **PARAMETROS ACREDITADOS BAJO LA NORMA NTE INEN-ISO/IEC 17025:2002**

ENSAYOS  
 No OAE LE 04-01



*Dra. Jenny Murillo*

**LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL**

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Yleri s/n y Gato Sobral    Telefax Directo: 3216-740    Troncal 502-262 Ext. 31  
 E-mail: info-osp@facquimuce.edu.ec    Quito - Ecuador  
 RAM-4.1-05

# Concentración total de mercurio en muestras de Agua (Portovelo)



## UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



### LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB- QAM-9357

ORDEN DE TRABAJO No 015372

SOLICITADO POR:	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DIRECCIÓN:	LADRON DE GUEVARA E11-253
FECHA DE RECEPCION:	19-06-07
HORA DE RECEPCION:	09H17
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	AGUA DESCRITOS EN EL INFORME
FECHA DE ANALISIS:	19 A 25-06-07
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	26-06-07
ESTADO:	TRANSPARENTES
CONTENIDO:	LIQUIDO
MUESTREADO POR:	250 ml
OBSERVACIONES:	CLIENTE
	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP

#### INFORME

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	*MERCURIO µg/l	METODO
P2 AGUA 1	8.59	APHA 3112 B
P2 AGUA 2	<0.03	
P3 AGUA 3	0.49	
P4 AGUA 4	3.25	
P4 AGUA 5	1.02	
P5 AGUA 6	14.89	
P7 AGUA 8	2.37	
P8 AGUA 9	10.87	
P9 AGUA 10	6.24	
P10 AGUA 11	<0.03	
P11 AGUA 12	<0.03	
P12 AGUA 13	<0.03	
P12 AGUA 14	<0.03	
P14 AGUA 15	2.95	
P15 AGUA 16	7.79	
P16 AGUA 17	0.23	
P17 AGUA 20	24.57	
P17 AGUA 21	1812.5	
P17 AGUA 18	0.42	
P18 AGUA 22	0.36	
P17 AGUA 19	0.50	
AGUA 7	0.28	



(\*) PARAMETROS ACREDITADOS BAJO LA NORMA NTE INEN-ISO/IEC 17025:2002  
ENSAYOS  
No OAE LE1 C 04-00



*Jenny Márillo*  
Dra. Jenny Márillo

LABORATORIO QUÍMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral    Telefax Directo: 3216-740    Troncal 502-262 Ext. 31  
E - mail info-osp@facquimuce.edu.ec    Quito - Ecuador  
RAM-4.1-05



# Concentración total de mercurio en muestras de Sedimentos (Nambija)

1/1



## UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



### LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB- QAM-9558

ORDEN DE TRABAJO No 015590

SOLICITADO POR:	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DIRECCIÓN:	LADRON DE GUEVARA E11-253
FECHA DE RECEPCION:	03-07-07
HORA DE RECEPCION:	09H22
MUESTRA DE:	AGUA
DESCRIPCION:	AGUA DESCRITOS EN EL INFORME
FECHA DE ANALISIS:	03 A 17-07-07
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA	18-07-07
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS.	TRANSPARENTES
ESTADO:	LIQUIDO
CONTENIDO:	250 ml
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP

#### INFORME

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	*MERCURIO µg/l	METODO
N1 AGUA 1	1.13	APHA 3112 B
N1 AGUA 2	3.17	
N1 AGUA 3	3.57	
N3 AGUA 4	1.43	
N4 AGUA 5	0.19	
N5 AGUA 6	0.14	
N6 AGUA 7	0.30	
N7 AGUA 8	1.61	
N7 AGUA 9	29.84	
N7 AGUA 10	3.08	
N8 AGUA 11	2.35	
N9 AGUA 12	0.54	
N9 AGUA 13	0.90	
N10 AGUA 14	0.51	
N11 AGUA 15	3.29	
N12 AGUA 16	0.81	
N13 AGUA 17	0.23	
N14 AGUA 18	0.46	
N15 AGUA 19	0.09	
N15 AGUA 20	0.57	



(\*) PARAMETROS ACREDITADOS BAJO LA NORMA NTE INEN-ISO/IEC 17025:2002  
ENSAYOS  
No OAE LE1 C 04-00

*Jenny Murillo*  
Dra. Jenny Murillo

LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral  
E-mail info-osp@facquimuce.edu.ec

Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 Ext. 31  
Quito - Ecuador  
4.1-05

RAM-

# Concentración total de mercurio en muestras de Agua (Nambija)

1/1



## UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS OFERTA DE SERVICIOS Y PRODUCTOS



### LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL INFORME DE RESULTADOS

INF-LAB- QAM-9559  
ORDEN DE TRABAJO No 015590

SOLICITADO POR:	ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
DIRECCIÓN:	LADRON DE GUEVARA E11-253
FECHA DE RECEPCION:	03-07-07
HORA DE RECEPCION:	09H22
MUESTRA DE:	SUELO
DESCRIPCION:	AGUA DESCRITOS EN EL INFORME
FECHA DE ANALISIS:	03 A 17-07-07
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS A LA SECRETARIA:	18-07-07
CARACTERISTICAS DE LAS MUESTRAS:	CARACTERISTICO
ESTADO:	SOLIDO
CONTENIDO:	1 KILOGRAMO
MUESTREADO POR:	CLIENTE
OBSERVACIONES:	Los resultados que constan en el presente informe se refieren a la muestra tomada por el cliente y entregada al OSP

#### INFORME

DESCRIPCION DE LA MUESTRA	*MERCURIO µg/kg	METODO
N12 SED 19	246.95	DIGESTION Y GENERACION DE HIDRUROS
N14 SED 21	35.72	
N15 SED 22	9.32	
N11 SED 18	49.18	
N7 SED 12	67.81	
N7 SED 10	27.45	
N3 SED 5	62.22	
N4 SED 7	44.48	
N4 SED 6	70.07	
P16 SED 20	1.74	
N9 SED 14	15.54	
N7 SED 11	4.30	
N10 SED 17	60.14	
N15 SED 23	73.81	
N10 SED 16	23.66	
N9 SED 13	39.53	
N13 SED 20	73.44	
N2 SED 4	-0.50	
N1 QUEBRADA DERECHO	1.25	
N6 SED 9	-0.48	
N8 SED 13	-0.49	
N1 QUEBRADA IZQUIERDA	53.11	
N1 UNION	256.88	
N3 SED 8	49.25	



PARAMETROS ACREDITADOS BAJO LA NORMA NTE INEN-ISO/IEC 17025:2002  
No. OAC LELC 04-00



*Jenny Murillo*

Dra. Jenny Murillo  
LABORATORIO DE QUIMICA AMBIENTAL

**IMPORTANTE PARA EL USUARIO: Exija el original. La Facultad no se responsabiliza por documentos fotocopiados**

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gato Sobral      Telefax Directo: 3216-740 Troncal 502-262 Ext. 31  
E - mail info-osp@facquimuce.edu.ec.      Quito - Ecuador  
4.1-05

RAM-

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
Proyecto COSUDE.....	2
Proyecto PRODEMINCA.....	3
CODIGEM.....	4
INEMIN.....	4
1.2.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.2.2. <i>Objetivo específicos</i> .....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PROVINCIAS DE ESTUDIO.....	6
1.4.1 <i>Ubicación geográfica de los sitios de muestreo (Anexo 2)</i> .....	7
a.) Provincia del Azuay.....	7
- Localidad Ponce Enríquez.....	7
b.) Provincia De Zamora Chinchipe.....	8
- Localidad de Nambija.....	8
c.) Provincia de El Oro.....	9
- Localidad Portovelo-Zaruma.....	9
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>10</b>
<b>CONCEPTOS FUNDAMENTALES.....</b>	<b>10</b>
2.1 METALES PESADOS.....	10
2.1.1 <i>Metales Esenciales y Tóxicos</i> .....	11
2.1.2 <i>Efectos Nutricionales y Prohibitivos de Metales Pesados en células/microorganismos vivientes</i> .....	12
2.2 EL MERCURIO (Hg).....	13
2.2.1 <i>Configuración Electrónica</i> .....	13
2.2.2 <i>Propiedades</i> .....	14
2.2.3 <i>Reactividad</i> .....	15
2.2.4 <i>Producción de Mercurio</i> .....	16
2.2.5 <i>Fuentes De Emisión Del Mercurio</i> .....	16
2.2.6 <i>Ciclo del Mercurio</i> .....	17
2.2.7 <i>Utilización del Mercurio</i> .....	18
2.2.8 <i>Formas Químicas del Mercurio</i> .....	19
a.) MERCURIO ELEMENTAL ( $Hg^0$ ).....	19
b.) FORMAS INORGANICAS (MERCURIO I Y MERCURIO II).....	20
c.) FORMAS ORGÁNICAS.....	21
2.2.9 <i>Metilación del Mercurio</i> .....	22
1.- METILACIÓN BIÓTICA(Biometilación).....	22
a.) Organismos anaerobios:.....	22
b.) Hongos:.....	24
c.) Organismos aerobios:.....	24
2.- METILACIÓN ABIOTICA.....	25
2.2.10 <i>Toxicidad del Mercurio</i> .....	25
Tipos de Intoxicación.....	26
a.) Aguda por vapores de Hg.....	26

b.) Subaguda .....	26
c.) Crónica .....	26
□ Fases del Hidrargirismo o Mercurialismo .....	27
1.- Fase de absorción.....	27
2.- Fase de intoxicación.....	27
3.- Micromercurialismo.....	27
Intoxicación con Mercurio Elemental .....	28
Intoxicación con Metilmercurio .....	28
2.2.11 ¿Cómo entra el mercurio en nuestro cuerpo humano y dónde se queda? .....	29
2.2.12 Diagnósis y desintoxicación.....	30
2.2.13 Origen de mercurio en las aguas y sedimentos.....	31
2.3. PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE ORO.....	31
2.3.1 Extracción.....	32
Yacimientos Aluviales:.....	32
Yacimientos Primarios (Minas) .....	32
2.3.2 Procesamiento.....	36
Yacimientos Aluviales:.....	36
Yacimientos Primarios (Minas) .....	36
a.) AMALGAMACIÓN: .....	40
b.) CIANURACIÓN:.....	46
2.4 ASPECTOS LEGALES.....	50
2.4.1 Límites Máximos Permisibles .....	52
2.4.2 Valores de Fondo .....	55
2.4.3 Grados de perturbación antropogénica .....	56
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>57</b>
<b>MUESTREO Y PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS .....</b>	<b>57</b>
3.1 MUESTREO .....	57
3.1.1 Ponce Enríquez (Bella Rica).....	57
3.1.2 Nambija.....	58
3.1.3 Zaruma Portovelo.....	58
3.2 MÉTODOS .....	58
3.2.1. Muestreo de agua .....	58
3.2.2. Muestreo de Sedimentos de ríos.....	59
3.3 ANÁLISIS QUÍMICOS.....	60
3.3.1 Digestión de las muestras de aguas de ríos.....	60
3.3.2 Digestión de las muestras de sedimentos de ríos.....	60
3.3.3 Cuantificación de mercurio en aguas y sedimentos por absorción atómica con vapor frío.....	61
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>66</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>66</b>
4.1. RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO .....	66
4.1.1 Ponce Enríquez (Bella Rica).....	66
a.) AGUA .....	66
4.1.2 Nambija.....	68
a.) AGUA .....	68
b.) SEDIMENTOS.....	69
4.1.3 Portovelo-Zaruma .....	70
a.) AGUA .....	70

b.) SEDIMENTOS.....	71
4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	72
4.2.1 Ponce Enríquez (Bella Rica).....	72
a.) AGUA.....	72
b.) SEDIMENTOS.....	75
4.2.2 Nambija.....	77
a.) AGUA.....	77
b.) SEDIMENTOS.....	80
4.2.3 Portovelo-Zaruma.....	83
a.) AGUA.....	83
b.) SEDIMENTOS.....	87
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>91</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>91</b>
5.1 CONCLUSIONES.....	91
5.1.1 Generales.....	91
5.1.2 Ponce Enríquez.....	92
5.1.3 Nambija.....	92
5.1.4 Portovelo-Zaruma.....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 METALES ESENCIALES Y TÓXICOS .....	12
TABLA 2.2: PROPIEDADES DEL MERCURIO .....	14
TABLA 2.3. SOLUBILIDADES DEL MERCURIO Y SUS COMPUESTOS EN G/100 ML A 25°C .....	15
TABLA 2.4: REACTIVIDAD DEL MERCURIO .....	15
TABLA 2.5: COMPUESTOS INORGÁNICOS INESTABLES .....	21
TABLA 2.6 LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO, QUE ÚNICAMENTE REQUIEREN TRATAMIENTO CONVENCIONAL. ....	52
TABLA 2.7. LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO QUE ÚNICAMENTE REQUIERAN DESINFECCIÓN. ....	53
TABLA 2.8 CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA FLORA Y FAUNA EN AGUAS DULCES, FRÍAS O CÁLIDAS, Y EN AGUAS MARINAS Y DE ESTUARIO.....	53
TABLA 2.9 CRITERIOS REFERENCIALES DE CALIDAD PARA AGUAS SUBTERRÁNEAS, CONSIDERANDO UN SUELO CON CONTENIDO DE ARCILLA ENTRE (0-25,0) % Y DE MATERIA ORGÁNICA ENTRE (0 - 10,0)% .....	53
TABLA 2.10 CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA AGUAS DE USO AGRÍCOLA .....	53
TABLA 2.11 CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUAS DE USO PECUARIO .....	53
TABLA 2.12 LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO .....	53
TABLA 2.13 LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE .....	54
TABLA 2.14 LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO .....	54
TABLA 2.15 CRITERIOS DE CALIDAD DE SUELO.....	54
TABLA 2.16 CRITERIOS DE REMEDIACIÓN O RESTAURACIÓN (VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS) .....	54
TABLA 2.17 NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES BÁSICOS A MONITOREAR EN EL PUNTO DE CONTROL A 150 M DE UN RELLENO .....	54
TABLA 2.18 VALORES DE FONDO PARA AGUAS.....	55
TABLA 2.19 VALORES DE FONDO PARA SEDIMENTOS.....	55
TABLA 2.20 GRADOS DE PERTURBACIÓN ANTROPOGÉNICA DE ACUERDO A LAS CONCENTRACIONES DE MERCURIO.....	56
TABLA 4.1 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE AGUA .....	66
TABLA 4.2 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	67
TABLA 4.3 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE AGUA .....	68
TABLA 4.4 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	69
TABLA 4.5 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE AGUA .....	70
TABLA 4.6 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	71
TABLA 4.7 GRADO DE PERTURBACIÓN POR MUESTRA .....	72
TABLA 4.8 GRADO DE PERTURBACIÓN POR MUESTRA .....	77
TABLA 4.9 GRADO DE PERTURBACIÓN POR MUESTRA .....	79
TABLA 4.10 GRADO DE PERTURBACIÓN POR MUESTRA .....	83
TABLA 4.11 GRADO DE PERTURBACIÓN POR MUESTRA .....	87
TABLA 4.12 GRADO DE PERTURBACIÓN POR MUESTRA .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 PROVINCIAS DE ESTUDIO.....	7
FIGURA 2.1: TABLA PERIÓDICA DE CON METALES Y METALOIDES.....	11
FIGURA 2.3. ESQUEMA RESUMIDO DEL CICLO DEL MERCURIO.....	18
FIGURAS 2.4, 2.5 Y 2.6: METILCOBALAMINA, S-ADENOSILMETIONINA Y N <sup>5</sup> - METILTETRAHIDROFOLATO.....	23
FIGURA 2.7: COENZIMA B12 .....	23
FIGURA 2.8: FORMACIÓN DE METILMERCURIO POR BACTERIAS AERÓBICAS.....	25
FIGURA 2.9: EXTRACCIÓN .....	33
FIGURA 2.10: PROCESAMIENTO.....	37
FIGURA 4.1 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE AGUA.....	72
FIGURA 4.2 CONCENTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DISTANCIAS PARA AGUAS .....	73
FIGURA 4.3: CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS.....	75
FIGURA 4.4: CONCENTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DISTANCIAS PARA SEDIMENTOS .....	76
FIGURA 4.5 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	78
FIGURA 4.6 CONCENTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DISTANCIAS PARA AGUAS .....	78
FIGURA 4.7 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	80
FIGURA 4.8: CONCENTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DISTANCIAS PARA SEDIMENTOS .....	81
FIGURA 4.9 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE AGUA.....	83
FIGURA 4.10 CONCENTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DISTANCIAS PARA AGUAS .....	84
FIGURA 4.11 CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	87
FIGURA 4.12: CONCENTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LAS DISTANCIAS PARA SEDIMENTOS .....	88

## ÍNDICE DE HOJAS TÉCNICAS

CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS (PORTOVELO).....	111
CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE AGUA (PORTOVELO).....	112
CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS (NAMBIJA) .....	113
CONCENTRACIÓN TOTAL DE MERCURIO EN MUESTRAS DE AGUA (NAMBIJA) .....	114

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

FOTO 2.1: EXTRACCIÓN EN YACIMIENTO ALUVIAL CON MAQUINARIA PESADA .....	34
FOTO 2.2: SELECCIÓN DE MATERIAL .....	34
FOTO 2.3: TRANSPORTE DE MATERIAL.....	35
FOTO 2.4: BOTADERO EN BELLA RICA .....	35
FOTO 2.5: INGRESO DE MATERIAL A TRITURADORA .....	37
FOTO 2.6: MOLINO EN PORTOVELO .....	38
FOTO 2.7: CANALONES A CONTINUACIÓN DEL MOLINO .....	39
FOTO 2.8: BATEA CON MATERIAL PARA AMALGAMACIÓN.....	39
FOTO 2.9: CANALONES EN YACIMIENTOS ALUVIALES.....	39
FOTO 2.10: MATERIAL PARA “PLATONEO”.....	41
FOTO 2.11: PLATO LISTO CON PANELA Y EL MATERIAL POR PROCESARSEPORTOVELO- ECUADOR .....	41
FOTOS 2.12 Y 2.13: PLATONEO.....	41
FOTO 2.14: ACUMULACIÓN DE ORO.....	42
FOTO 2.15: ADICIÓN DE MERCURIO.....	42
FOTO 2.16: BOLA DE AMALGAMA.....	43
FOTOS 2.17 Y 2.18: TRAPO O TELA PARA EXPRIMIR LA BOLA DE AMALGAMA.....	43
FOTO 2.19: RECUPERACIÓN DE MERCURIO .....	43
FOTO 2.20: COLAS EMPOZADAS PORTOVELO-ECUADOR .....	44
FOTO 2.21: RETORTA PARA QUEMA DE BOLA DE AMALGAMA.....	44
FOTO 2.22: QUEMA DE BOLA DE AMALGAMA .....	45
FOTO 2.23: CÁMARA DE RECUPERACIÓN DE MERCURIO.....	45
FOTO 2.24: AMBIENTE ÁCIDO DENTRO DE UNA MINA ZARUMA-ECUADOR.....	46
FOTO 2.25: PLATONEO EN PORTOVELO-ECUADOR.....	46
FOTO 2.26: TANQUE DE CIANURACIÓN.....	48
FOTO 2.27: VIRUTAS DE ZINC.....	48
FOTO 2.28: PISCINA DE SEDIMENTACIÓN .....	49
FOTO 2.29: FUNDICIÓN .....	49
FOTO 3.1: MUESTRAS DE AGUA.....	59
FOTO 3.2: MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	59
FOTO 3.3: TRASLADO DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS .....	59
FOTO 3.4 Y 3.5: MUESTRAS DE SEDIMENTOS SECADAS EN HORNO....	61
FOTO 3.6: TAMIZADA DE MUESTRAS .....	61
FOTO 3.10: ESPECTRÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA .....	61
FOTO 3.11: GENERADOR DE HIDRUIOS MHS .....	62
FOTO 3.12: CAMPANA DE EXTRACCIÓN.....	62
FOTO 3.13: ÁCIDO NÍTRICO 0,22 MOL/L (PREPARADO) FOTO 3.14: PERMANGANATO DE POTASIO AL 5% (PREPARADO) .....	63
FOTO 3.15: BOROHIURURO DE SODIO 98% (PREPARADO).....	63



FOTO 3.16: SOLUCIÓN DE 1000 PPM.....	FOTO 3.17: SOLUCIÓN DE 1 PPM (PREPARADO)
63	
FOTO 3.18: 10 ML DE ÁCIDO NÍTRICO .....	64
FOTO 3.19: LÁMPARA DE DESCARGA DE ELECTRONES.....	64
FOTO 3.20: 25 ML DE SOLUCIÓN STOCK DILUÍDA .....	65
FOTO 4.1 PISCINA DE OXIDACIÓN.....	74
FOTO 4.2 RIBERAS DEL RÍO SIETE.....	74
FOTO 4.3 PISCINA DE TILAPIAS .....	75
FOTO 4.4 RÍO GUANANCHE .....	75
FOTO 4.5 QUEBRADA CALIXTO .....	78
FOTO 4.6 RÍO NAMBIJA.....	80
FOTO 4.7 RÍO NAMBIJA AGUAS ABAJO .....	81
FOTO 4.7 AGUAS TERMALES.....	85
FOTO 4.8 RÍO AMARILLO AGUAS ABAJO .....	85
FOTO 4.9 UNIÓN DEL RÍO CALERAS (IZQ.) CON EL RÍO AMARILLO (DER.).....	85
FOTO 4.10 RÍO CALERAS AGUAS ABAJO .....	86
FOTO 4.11 AMALGAMACIÓN JUNTO AL RÍO CALERAS .....	86
FOTO 4.12 CHANCHAS JUNTO AL RÍO CALERAS.....	86
FOTO 4.13 SEDIMENTOS EN AGUAS TERMALES .....	89
FOTO 4.14 SEDIMENTOS EN EL RÍO CALERAS.....	89

## ÍNDICE DE ANEXOS

UBICACIÓN DE LAS PROVINCIAS DE ESTUDIO .....	97
UBICACIÓN DE LOS SITIOS DE MUESTREO .....	98
UBICACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA DE PONCE ENRÍQUEZ.....	99
UBICACIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS DE PONCE ENRÍQUEZ.....	100
UBICACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA DE NAMBIJA.....	101
UBICACIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS DE NAMBIJA .....	102
UBICACIÓN DE MUESTRAS DE AGUA DE PORTOVELO-ZARUMA .....	103
UBICACIÓN DE MUESTRAS DE SEDIMENTOS DE PORTOVELO-ZARUMA .....	104
CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUAS DE PONCE ENRÍQUEZ .....	105
CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SEDIMENTOS DE PONCE ENRÍQUEZ .....	106
CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUA DE NAMBIJA .....	107
CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SEDIMENTOS DE NAMBIJA .....	108
CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUA DE PORTOVELO-ZARUMA.....	109
CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN SEDIMENTOS DE PORTOVELO-ZARUMA.....	110

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Diagnóstico:** Razonamiento dirigido a la determinación de la naturaleza y origen de un fenómeno. Proceso que se realiza en un objeto determinado, generalmente para solucionar un PROBLEMA. En el proceso de diagnóstico dicho problema experimenta cambios cuantitativos y cualitativos, los que tienden a la solución del problema.

**Contaminación:** Es la introducción en un medio cualquiera de un contaminante, es decir, la introducción de cualquier sustancia o forma de energía con potencial para provocar daños, irreversibles o no, en el medio inicial.

**Contaminación Ambiental:** Es presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o bien de una combinación de varios agentes en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o impidan el uso normal de las propiedades y lugares de recreación y goce de los mismos.

**Intoxicación:** Una intoxicación se produce por la ingestión o por la inhalación de sustancias tóxicas.

**Depósito:** Sedimentos que quedan por el paso del agua u otra consecuencia.

**Metilación:** es la adición de un grupo metilo (-CH<sub>3</sub>) a una molécula.

**Antropogénico:** De origen humano o derivado de la actividad del hombre.

**Perturbación:** Cambios en la naturaleza de los depósitos aluviales en el tiempo.

**Interpolación:** Es la construcción de nuevos puntos partiendo del conocimiento de un conjunto discreto de puntos

## BIBLIOGRAFÍA

- SANDOVAL Fabián, *La pequeña Minería en el Ecuador*, MMSD, Octubre 2001
- PRODEMINCA, *Monitoreo Ambiental de las áreas mineras en el sur del Ecuador*, Ministerio de Energía y Minas, 1996-1998
- HRUSHKA, F., *Proyecto Minería sin Contaminación en Zaruma-Portovelo*, El Oro –Ecuador, (1995)
- Sengupta, Arup K, *Environmental Separations of Heavy Metals*, Engineering Processes, Capítulo 1, 1era Edition, Septiembre 2001.
- Babor, Joseph A., Aznárez, José Iberz, *Química General Moderna*, Editorial Marín S.A., 1975
- Thomas Hentshel, Michael Priester, *Impactos del Mercurio en países en vías de desarrollo por amalgamación de oro en pequeña minería*, MAEG, págs. 1, 4, 6 y 7.
- *Informe final monitoreo de aguas, toma de sedimentos y determinación de caudal en Nambija, Ponce Enríquez, San Gerardo, y Zaruma-Portovelo*, MAAM, Quito, 1997.
- *The Merck Index*, Edición 12, 1996
- *Adsorption of Elemental Mercury by virgin and impregnated Activated Carbon*, Engineering Processes, Radisav D. Vidic, Chapter 2, 1st Edition, September 2001.
- *Perpectives on the Temporal Development of Mercury Inputs into the Enviroment*
- W.F. Fitzgerald, R.P. Mason y G.M. Vandal , *Contaminación de agua, aire y suelos*, 1991, 745-767
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, *Evaluación Mundial sobre el Mercurio*, Ginebra Suiza, Junio 2005
- *Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado en la minería aurífera artesanal Lima*, septiembre de 2001
- Verbel, Jesús Olivero, Jhonson Respreto, Boris, *El Lado Gris de la Minería del Oro*, Universidad de Cartagena, Facultad de Ciencias Químicas, 2002.
- Mercury Contamination of humans in Gold and Silver Mining Areas
- Dr. Marc Lucotte, Universidad de Quebec, Montreal, *Determinación de Mercurio en la Amazonia de Brasil del IDRC*.
- Gonzaga, Luis, *CIANURACIÓN POR AGITACIÓN PARA LA DISOLUCIÓN DE ORO DE LAS MENAS DE PONCE ENRÍQUEZ (PROVINCIA DEL AZUAY - ECUADOR)*, Noviembre 2005
- Wotruba, Hermann, *Procesos de beneficio mineral aptos para la minería en pequeña escala*, Departamento de Procesamiento de Minerales, RWTH Universidad de Aachen
- Constitución Política de la República del Ecuador, Capítulo II Derechos Civiles, artículo 23, numeral 6 y 20 y artículo 86.
- *Reglamento Ambiental para Actividades Mineras*, Septiembre 1997
- *Reglamento general sustitutivo para la ley de Minería*, publicado en Abril de 2001
- *Texto Unificado de Legislación Ambiental*, Libro VI, Anexo 1, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes

## **OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN**

- Dirección Metropolitana de Medioambiente, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.
- Datos del Sistema de Administración de derechos mineros (catastro minero) a marzo de 2001.
- Unidad de Toxicología Clínica del Hospital Clínico de Zaragoza.
- Conferencias del Dietrich Klinghardt M.D., Ph.D.

## **SITIOS WEB**

- Provincia del Azuay, [www.ecuaworld.com/ec/azuay.htm](http://www.ecuaworld.com/ec/azuay.htm).
- Provincia de Zamora, [www.ecuaworld.com/ec/zamora.htm](http://www.ecuaworld.com/ec/zamora.htm).