

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA  
METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA METALÚRGICA**



**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MERCURIO EN AGUA Y  
SEDIMENTOS DEL RIO SUCHES-ZONA BAJO PARIA COJATA - PUNO.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. HERNÁN RÓMULO APAZA PORTO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO METALURGISTA**

**PUNO - PERU**

**2016**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA**  
**“DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MERCURIO EN AGUA Y**  
**SEDIMENTO DEL RIO SUCHES - ZONA BAJO PARIA COJATA - PUNO”**

**TESIS**

Presentado a la coordinación de investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Metalúrgica como requisito para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO METALURGISTA**

**PRESENTADO POR:**

Bach. Hernán Rómulo APAZA PORTO

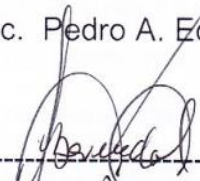
**APROBADO POR:**

PRESIDENTE DE JURADO:

-----  



M.Sc. Pedro A. Edwin Gallegos Pasco

PRIMER MIEMBRO:

-----  


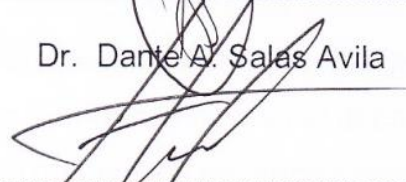
M.Sc. Fernando Bernedo Colca

SEGUNDO MIEMBRO:

-----  



Dr. Dante A. Salas Avila

DIRECTOR DE TESIS:

-----  


Ing. Hugo Fernandez Ochoa

ASESOR DE TESIS:

-----  


M.Sc. Dalmiro Cornejo Olarte

AREA: Seguridad y Medio Ambiente.

TEMA: Contaminación del Agua.

## DEDICATORIA

Me gustaría dedicar esta Tesis, al lazo que me conecta a la vida, a quien me ha dado las alas para volar y que nunca ha cerrado mis cielos y mis posibilidades, a la mujer que trazó lo que soy...

Mi Madre.

A la persona más dulce en mi vida, la más grande, la más honesta... al amor y la ternura más infinito...

Mi Esposa

Y una dedicación especial Para mi padre Daniel Ezequiel que se encuentra en el cielo por su comprensión y ayuda en todos los momentos malos y buenos que pase cuando él estuvo en vida. A mis hermanos, en especial a mi único hermano, a mis abuelos que se encuentran en el cielo, son todos ellos los que me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi empeño y voluntad de salir siempre adelante, todo ello con una gran dosis de amor y cariño y sin pedir nunca nada a cambio.

A los amigos a los ingenieros de la escuela y de vida, a los buenos y malos recuerdos... a todos los que me han acompañado en el aprendizaje, olvido, alegría, madrugadas, silencios, la danza, en la música y en el deporte... por todo lo compartido, por el camino que hemos recorrido juntos.

Por darle a mi corazón el ritmo y el son al que debe latir y vibrar, por ser parte de la música de mi vida....

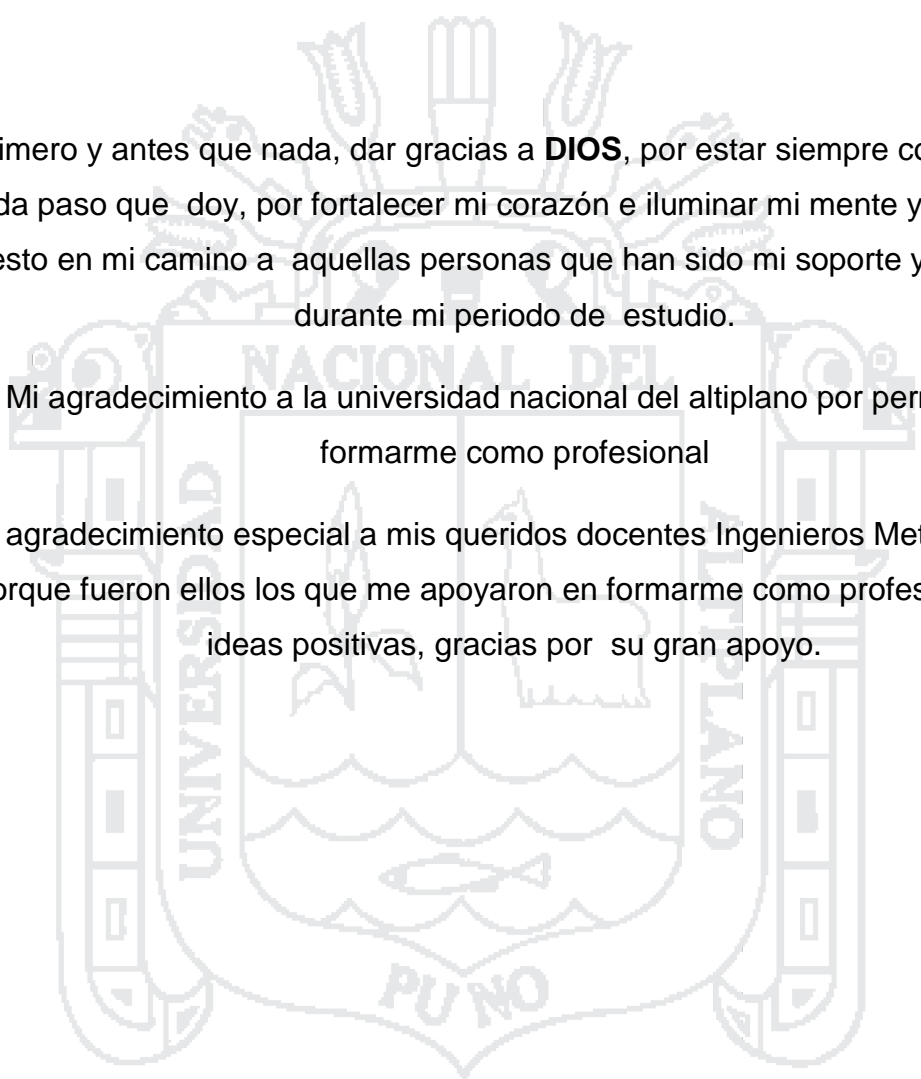
**A TODOS ELLOS GRACIAS DE TODO CORAZÓN!!**

## AGRADECIMIENTO

Primero y antes que nada, dar gracias a **DIOS**, por estar siempre conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante mi periodo de estudio.

Mi agradecimiento a la universidad nacional del altiplano por permitirme formarme como profesional

Un agradecimiento especial a mis queridos docentes Ingenieros Metalurgistas, porque fueron ellos los que me apoyaron en formarme como profesional con ideas positivas, gracias por su gran apoyo.

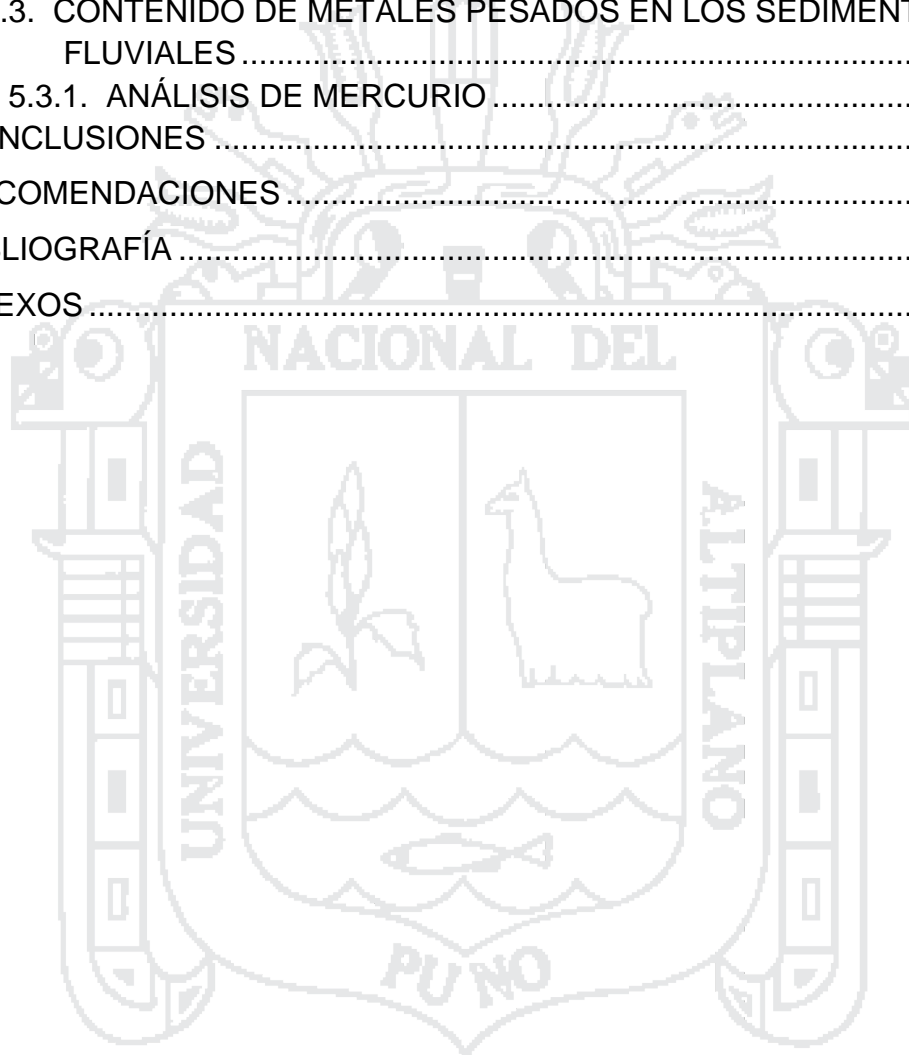


**ÍNDICE**

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE .....	iv
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPITULO I.....	1
ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	6
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.....	7
1.3. ANTECEDENTES.....	7
1.3.1 ACTIVIDAD MINERA FORMAL.....	9
1.3.2 ACTIVIDAD MINERA INFORMAL.....	10
1.4. JUSTIFICACION.....	12
1.5. HIPOTESIS.....	13
1.5.1. HIPOTESIS GENERAL.....	13
1.6.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS.....	13
1.6. OBJETIVOS.....	13
1.6.1. OBJETIVO GENERAL.....	13
1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	13
1.7. UBICACIÓN.....	14
CAPITULO II.....	15
MARCO TEORICO.....	15
2.1. QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN.....	15
2.2. CLASES DE CONTAMINACIÓN.....	17
2.3. IMPACTOS DE LA MINERIA ARTESANAL.....	20
2.3.1. IMPACTOS AMBIENTALES.....	20
2.3.2. CONTAMINACIÓN POR MERCURIO.....	20
2.3.3. CONTAMINACIÓN POR CASCAJO.....	21
2.3.4. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS.....	21
2.4. EQUILIBRIO ECOLÓGICO.....	22
2.5. MERCURIO.....	23
2.6. FORMAS DE MERCURIO.....	25
2.7. PRODUCCION Y USOS DEL MERCURIO.....	25
2.8. CONTAMINACIÓN DE AGUAS POR MERCURIO.....	27

2.9. EMISIONES ANTROPOGENICAS DEL MERCURIO.....	28
2.10. FUENTES PUNTUALES. ....	29
2.11. FUENTES DE PRODUCCIÓN. ....	30
2.12. EL MERCURIO Y METILMERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE. ....	32
2.13. METILACION DEL MERCURIO INORGANICO. ....	33
2.14. DEMETILACION DEL METILMERCURIO.....	35
2.15. TOXICIDAD DEL MERCURIO EN SERES VIVOS.....	36
2.16 PROCESOS DE AMALGAMACIÓN DEL MERCURIO.....	39
2.17. SEPARACIÓN DEL ORO Y MERCURIO. ....	42
2.18. RETORTA. ....	44
2.19 GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS RESPECTO A METALES PESADOS. ....	45
2.20. CONTAMINACIÓN EN CUERPOS DE AGUA. ....	46
2.21. METALES PESADOS Y ARSÉNICO EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS. ....	47
CAPITULO III.....	49
METODOLOGIA. ....	49
3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	49
3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	50
3.3. METODOLOGÍA.....	51
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLOGICO.....	51
3.4.1. MUESTREO PARA METALES PESADOS.....	51
- PROCEDIMIENTO ANALÍTICO. ....	54
3.4.2. DIGESTIÓN DE MUESTRAS Y LECTURA EN EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA. ....	54
- LECTURA DE MUESTRAS.....	54
3.5. REACTIVOS.....	55
CAPITULO IV.....	56
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN. ....	56
4.1 GEOGRAFIA. ....	56
4.2. MEDIO GEOGRAFICO.....	58
4.2.1. UBICACIÓN.....	58
4.2.2. LÍMITES.....	59
4.2.3. CLIMA.....	59
4.2.4 LA OROGRAFÍA.....	60
4.2.5 HIDROGRAFÍA.....	62
4.2.6 DEMOGRAFÍA.....	63
4.3 FLORA Y FAUNA. ....	66
CAPITULO V.....	67
RESULTADOS Y DISCUSION.....	67
5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA. ....	67
5.1.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS.....	70

5.1.1.1. pH.....	70
5.1.1.2. SALINIDAD .....	71
5.1.1.3. CONDUCTIVIDAD.....	73
5.2. CONTENIDO DE METALES PESADOS EN AGUAS DEL RIO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	74
5.2.1. ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN AGUA - INICIO .....	75
5.3. CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS FLUVIALES .....	77
5.3.1. ANÁLISIS DE MERCURIO .....	79
CONCLUSIONES .....	82
RECOMENDACIONES .....	84
BIBLIOGRAFÍA .....	85
ANEXOS .....	94



**INDICE DE CUADROS.**

CUADRO Nº 1 RESULTADOS Y DISCUSION - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS .....	69
CUADRO Nº 2 RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA PARA EL pH - 2015..	70
CUADRO Nº 3 RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA PARA SALINIDAD - 2015 .....	72
CUADRO Nº 4 RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA PARA CONDUCTIVIDAD - 2015 .....	74
CUADRO Nº 5 RESULTADO DE ANÁLISIS DE METALES PESADOS - Inicio.....	75
CUADRO Nº 6 ANALISIS DE VARIANZA COMPARATIVO DE TRES ZONAS DE MUESTREO DE MERCURIO.....	77
CUADRO Nº 7 CONTENIDO DE METALES PESADOS Y SU ACUMULACIÓN EN LOS SEDIMENTOS FLUVIALES EN EL INICIO DE LA COMUNIDAD .....	78
CUADRO Nº 8 CONTENIDO DE METALES PESADOS Y SU ACUMULACIÓN EN LOS SEDIMENTOS ALTURA DEL CENTRO DE LA COMUNIDAD.....	78
CUADRO Nº 9 CONTENIDO DE METALES PESADOS Y SU ACUMULACIÓN EN LOS SEDIMENTOS A LA ALTURA CONSIDERADA FINAL DE LA COMUNIDAD.....	78
CUADRO Nº 10 ANALISIS DE VARIANZA COMPARATIVO DE TRES ZONAS DE MUESTREO DE MERCURIO EN SEDIMENTOS	79



**INDICE DE FIGURAS.**

FIGURA Nº 1. FUENTES Y CAMINOS DEL MERCURIO..... 32

FIGURA Nº 2. CICLO GEOMÉTRICO DEL MERCURIO ..... 36

FIGURA Nº 3. COORDENADAS DEL DISTRITO DE COJATA..... 57

FIGURA Nº 4. MAPA DE COORDENADAS DE COJATA..... 57

FIGURA Nº 5. "MAPA DEL DISTRITO DE COJATA" ..... 65



**ÍNDICE DE ANEXOS.**

ANEXO 1. MATERIALES.....	95
ANEXO 2. PROCEDIMIENTO METODOLOGICO.....	96
ANEXO 3. FOTOS.....	98



**ABREVIATURAS.**

Hg	: Mercurio.
Hydros (griego)	: Agua.
Argyros (griego)	: Plata.
HgS	: Sulfuro de Mercurio.
HgO	: Oxido de Mercurio.
HgCl <sub>2</sub>	: Cloruro de Mercurio.
ppm.	: Partes por Millón.
mg/l	: Miligramo por Litro.
mg/m <sup>3</sup>	: Miligramo por metro cubico.
tn.	: Toneladas.
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
LCA	: Laboratorio de Calidad Ambiental.
AA	: Atómica Absorción.
HNO <sub>3</sub>	: Ácido Nítrico.
INEI	: Instituto Nacional de Estadística e Informática.
PNUD	: Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo.
OMS	: Organización Mundial de la Salud.
msnm	: Metros sobre el nivel del mar.
µS/cm	: Micro siemens por centímetro.
pH	: Potencial de Hidrogeno.
TDS	: Total de Solidos Disueltos.
UNA	: Universidad Nacional del Altiplano.

## RESUMEN

La cuenca del río Suches se encuentra compartida entre (Perú y Bolivia) lo que determina que la extracción de oro, es el potencial económico. La investigación evalúa la concentración de mercurio en agua y sedimento del río Suches en la zona bajo Paria del distrito de Cojata Puno y reúne los resultados de la evaluación de niveles de mercurio en agua y sedimentos de la cuenca. Este análisis muestra que hay una marcada tendencia de incremento de las concentraciones de mercurio durante los últimos años.

La metodología aplicada es de tipo cuantitativa, primeramente se caracterizó los parámetros físico químico del agua y sedimento del río, luego se realizó la caracterización del metal pesado. Los datos obtenidos fueron en el laboratorio acreditado de la ciudad de Bolivia LCA.

La presencia de mercurio en agua muestra indicadores de ligera contaminación, por debajo de los límites permisibles y en varios casos por debajo del límite de detección (generalmente 0.0002 ug/l). Estos valores han sido reportados en aguas de relave; su efecto en la ictiofauna muestra que los peces se encuentran por debajo de los límites permisibles para la alimentación.

Los sedimentos presentan concentraciones mínimas de mercurio; sin embargo la tendencia espacial demuestra que hay una relación inversa entre las concentraciones de mercurio y la pendiente, El presente estudio se limita en un tramo del inicio, centro y final de la zona de estudio. En conclusión de acuerdo al cuadro de análisis de varianza muestra que existe una diferencia altamente significativo ya que la probabilidad es menor que  $\alpha = 0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se realiza la prueba de Tukey.

En cuanto al elevado contenido de mercurio en los sedimentos, estos pueden traer problemas ambientales pues en medios anaeróbicos el mercurio tiende a mutilarse, convertirse en una SUSTANCIA orgánica por la flora y fauna del medio proviniendo la bioacumulación del mismo en el ser vivo.

**PALABRAS CLAVES:** Agua, contenido, determinación, mercurio, sedimento.

## ABSTRACT

Suches river basin is shared between (Peru and Bolivia) which determines that gold mining is the economic potential. The research assesses the concentration of mercury in water and river sediment suches in the area under Paria District Cojata Puno and gathers the results of the evaluation of mercury levels in water and sediments of the basin. This analysis shows that there is a marked trend of increasing mercury concentrations in recent years.

The methodology is quantitative type, firstly the physical and chemical parameters of the river water and sediment was characterized, then the characterization of heavy metal was performed. The data obtained were accredited laboratory in the city of Bolivia LCA.

The presence of mercury in water shows slight contamination indicators, below allowable limits and in some cases below the detection limit (generally 0.0002 ug / l). These values have been reported in waters tailing; its effect on the fish fauna shows that fish are below the permissible limits for food.

The sediments have low concentrations of mercury; however the spatial trend shows that there is an inverse relationship between the concentrations of mercury and the slope This study is limited in a section of the beginning, middle and end of the study area. In conclusion according to the table of variance analysis it shows that there is a highly significant difference since the probability is less than  $\alpha = 0.05$ , therefore the null hypothesis is rejected and the alternative hypothesis is accepted and the Tukey test is performed.

As for the high content of mercury in sediments, they can bring environmental problems in anaerobic environments because mercury tends to mutilate, become an organic substance by the flora and fauna of the bioaccumulation half of it coming in the living being.

**KEYWORDS:** Water, content, determination, mercury, sediment.



## CAPITULO I

### ASPECTOS GENERALES.

#### 1.1. INTRODUCCIÓN.

El Perú es un país minero. Esta actividad representa aproximadamente entre el 40 y el 50% del producto de exportación. Su participación en la minería mundial destaca como producto de primer nivel en zinc, plata y estaño y, en menor escala, en plomo, cobre y oro.

En los últimos 5 ó 6 años, se ha vivido una etapa de apertura a la economía global y a las inversiones, lo cual está conduciendo a la presencia de capitales, privados y no privadas, tanto nacionales como extranjeras, en las diferentes etapas de la actividad minera.

El mercurio es un elemento potencialmente tóxico, el cual tiene características de persistencia y bioacumulación. Aproximadamente un 95% del mercurio en nuestro planeta se encuentra en los suelos, en los sedimentos y en todo

organismo viviente; alrededor de un 3 % se halla en el agua mientras que el restante, cerca del 2%, existe como vapor en la atmósfera. Las emisiones producidas como consecuencia de las actividades humanas son las responsables del 50% al 75% del mercurio que está en la atmósfera.

La cuenca del río Suches se encuentra parcialmente contaminada por mercurio debido a la explotación aurífera desarrollada en la región. La zona presenta un alto potencial aurífero, el cual es explotado de forma artesanal o semi-artesanal, lo que implica que en algunos casos se empleó mercurio para la separación final del oro de otros minerales.

Con esta técnica la recuperación de oro es parcial (55%) y la recuperación de mercurio depende de los procesos de manipulación, cuando su recuperación es ineficiente es liberado al medioambiente, alcanzando cuerpos de agua, suelos, biota y humanos, el mercurio es el metal pesado más tóxico conocido debido a que incluso a bajas concentraciones afecta el nivel psico-motor de los humanos.

La cuenca del río Suches presenta sus nacientes en la Cordillera Oriental, de Palomani, Apolobamba y su desembocadura en el Lago Titicaca.

La amalgamación es un proceso por el cual el oro es atrapado por el mercurio en el seno de una sustancia acuosa para formar una sustancia altamente viscosa y de color blanco brillante llamado amalgama, la recuperación final del metal es mediante calentamiento del metal (evaporación del mercurio) o la adición del ácido nítrico (disolución del mercurio).

El río Suches en su zona alta y media se constituye en el límite político natural entre Perú y Bolivia. Para Perú el río Suches se constituye en uno del afluente del lago Titicaca. Mientras que el más importante es el río Ramis.

Una de las principales amenazas a las que se encuentra sujeta la cuenca del río Suches es la contaminación por mercurio, ocasionada por la extracción minera de oro desarrollada tanto en Perú como Bolivia.

La explotación de oro en la región se caracteriza por usar mecanismos artesanales y/o semi-artesanales; de los cuales el 14% emplea mercurio para separar el oro de otros sedimentos, la separación del oro se produce mediante quema del mercurio lo que puede liberarlo a la atmósfera o permitir que se deposite en los suelos y cuerpos de agua.

El uso inapropiado del mercurio en estos procedimientos conduce a la producción de altas pérdidas, tanto en forma elemental, como en forma de gas y compuestos inorgánicos durante la separación oro-mercurio.

Las principales formas tóxicas del mercurio son el metil-mercurio que se forma en condiciones naturales en los sedimentos inundados y en condiciones de anoxia, el proceso puede ser favorecido por la presencia de bacterias sulfatos reductores y algunas condiciones ambientales.

El metil-mercurio es fácilmente incorporado en la cadena alimenticia atacando el sistema nervioso central de los animales. La otra forma altamente tóxica del mercurio son los vapores de mercurio mercúrico (forma reducida del mercurio) liberada durante la quema de la amalgama (mercurio-oro) y las amalgamas dentales, este mercurio es la principal fuente de intoxicación ocupacional para



humanos, y sus efectos no solo se relacionan con daños en las funciones neuromotoras; sino también a nivel pulmonar y renal.

La sedimentación del mercurio en los efluentes mineros a la larga puede ocasionar grandes problemas ambientales ya que esta forma podría bioacumularse no solo en el ser humano, sino también en plantas y animales.

El presente estudio busca caracterizar el estado de contaminación de la cuenca del río Suches con principal enfoque en el mercurio, por su importancia en la extracción de oro y sus características toxicológicas para seres humanos.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La contaminación ambiental es uno de los mayores problemas a nivel mundial, y uno de los causantes es el mercurio y su uso exagerado e inadecuado para su extracción del oro, esto ocasiona que el río Suches este contaminado con metales pesados.

Las actividades mineras artesanales informales existentes en el Distrito de Cojata Minas Llaguna Suches, Antaquilla y al sur este del hito 12, recientemente se ha detectado actividad minera y entre otros que pertenece a nuestro vecino país de Bolivia generan relaves mineros que no reciben ningún tipo de tratamiento y son descargados directamente a los suelos y a las fuentes de agua directamente al río Suches del distrito de Cojata – Huancané.

El mayor problema es la contaminación ambiental generado por la minería informal es el uso exagerado e inadecuado de mercurio para la extracción de oro que altera a la flora y fauna silvestre así como a la ganadería, con los

consiguientes riesgos sobre la salud pública. Se estima que se pierden cada año alrededor de 15 toneladas de mercurio líquido en la zona de Puno, y estaría en aumento en los próximos años, acrecentando la contaminación de los causes y los riesgos de salud pública.

El mercurio es un metal pesado que trae consigo graves problemas ambientales en el agua, suelo y en el ser vivo, pues al contrario de ser absorbido se acumula por tiempo indeterminado, consecuentemente provoca enfermedades en los seres vivos y muerte en la flora y fauna que los contiene. Por los problemas anteriormente mencionados en esta localidad el presente proyecto de investigación pretende realizar la: Determinación del contenido de mercurio en agua y sedimento del río suches zona bajo paria Cojata-Puno.

La cuenca del río Suches pertenece al sistema de cuencas endorreicas del lago Titicaca, este río ha sido designado como límite entre Perú y Bolivia. El potencial aurífero en la zona es uno de los mayores de la región al encontrarse constituido por placeres del oro formados en el ordovícico en la cordillera de Palomani.

Esta cuenca se encuentra compartida entre dos países (Perú y Bolivia) lo que determina que los asentamientos humanos destinados a la extracción de oro, que es el mayor potencial económico que presenta la cuenca se constituya en un problema de derecho de uso de orden internacional; así como de contaminación por mercurio de los ecosistemas y posiblemente humanos, debido a que este metal pesado, altamente tóxico es empleado para separar el oro de los otros minerales presentes en los sedimentos.

Igualmente las actividades mineras informales en Nevado Infinito, Ananea y aledaños, generan relaves y además sólidos en suspensión, por la remoción de materiales de morrena con maquinaria pesada, los que son evacuados al suelo y aguas de la cabecera de la sub cuenca indiscriminadamente.

El mercurio es un metal pesado que trae consigo graves problemas ambientales en el agua, suelo y en el ser vivo, pues al contrario de ser absorbido se acumula por tiempo indeterminado, consecuentemente provoca enfermedades en los seres vivos y muerte en la flora y fauna que los contiene.

El mercurio es una neurotóxica muy potente, es decir, que ataca el sistema nervioso central. Puede dañar el cerebro, los riñones y los pulmones. Es capaz de atravesar la barrera hematoencefálica así como la placenta. (Español cano 1995).

La exposición al mercurio puede ser particularmente peligrosa para las mujeres embarazadas y los niños pequeños. Durante los primeros años de vida el cerebro del niño sigue en desarrollo y absorbe nutrientes rápidamente. La exposición al mercurio antes del nacimiento y durante la infancia puede causar retraso mental, parálisis cerebral, sordera y ceguera. Incluso en dosis pequeñas en mercurio puede afectar el desarrollo del niño, causando déficit de atención y problemas de aprendizaje.

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL.**

¿Cómo determinar el contenido de mercurio en agua y sedimentos del río suches zona bajo paria Cojata –Puno?

### 1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO.

¿Cuál es la concentración del mercurio en agua y sedimento del río suches zona bajo paria Cojata-Puno?

¿Cuál será la calidad de agua del río suches con respecto a los estándares de calidad ambiental?

### 1.3. ANTECEDENTES.

La cuenca del río Carabaya nace en la quebrada del cerro Lunar y en la laguna Rinconada, estando el Sistema Hidrográfico constituido por el río Grande-Crucero-Ayaviri-Azangaro-Ramis, siendo el mismo río que va tomando diferentes nombres de acuerdo al área geográfica. El río Ramis desemboca en el lago Titicaca.

Los poblados en el entorno de la cuenca del río Carabaya desde su nacimiento hasta el lago Titicaca son los siguientes: Rinconada, Ananea, Crucero, San Antón, Carmen, Progreso, Pucará, Nikasio, Azángaro, Tirapata, Calapuja, Achaya y Caminaca.

La Zona Aurífera de Puno comprende un área de 6,738 Km<sup>2</sup>. Estando concentrada la actividad minera en el nevado de Ananea principalmente y en San Antonio de Poto (Ananea).

En la parte alta de la zona de Rinconada, encima de 5000 msnm, se encuentra el nevado Ananea que drena hacia las cuencas del Atlántico y del Titicaca. Hay yacimientos tipo manto en la zona alta, y depósitos aluviales y fluvio-glaciares

auríferos (placeres auríferos), en la parte baja. Los yacimientos en mantos son: Gavilán de Oro, Untuca, Ana María y la Rinconada. Los yacimientos en vetas son: Quince Mil, Manco Cápac, Benditani y Santo Domingo. Los yacimientos en placer son: San Antonio de Poto (Ananea) y Ancocala.

Las minas en explotación y abandonadas dentro de este yacimiento son: Lunar de Oro, Ana María, La Rinconada y Untuca. Entre la laguna Rinconada y el nevado de Ananea, existen aproximadamente 4,000 mineros en la zona de Cerro Lunar y 14,000 mineros en la zona de Rinconada. Estos mineros artesanales trabajan en áreas donde existen derechos de terceros, la complejidad actual de sus actividades se ve amparada en el consentimiento del titular expresado en diversas modalidades de acuerdo a que garantizan los beneficios económicos de este. Estos acuerdos son tanto informales, como formales, como es el caso de la Rinconada donde los "contratistas" trabajan bajo un contrato formal de locación de servicios con la "CORPORACION ANANEA", recientemente formada; no obstante, no todos los "Contratistas" están amparados por estos contratos ni los términos de estos documentos son los que rigen en la realidad. Por otro lado, la relación entre los contratistas y los trabajadores mineros, conocida como "Cachorro", es completamente informal, existen miles de "cachorros" explotados, y contratistas unos cientos. Los mineros de la zona de Cerro Lunar utilizan los quimbaletes y mercurio en el proceso de la recuperación del oro y los relaves que generan esta operación están en contacto con el agua que baja por la quebrada del Cerro Lunar hacia la laguna, contaminándola. Existen estudios por la universidad nacional del Altiplano y la Facultad de Minas donde se indica que existe contaminación por mercurio en los ríos de la cuenca Ramis. Los desechos sólidos y líquidos que

generan estos mineros también están en contacto con el agua que baja por la quebrada. No existiendo servicio de agua potable ni desagüe en el poblado del Cerro Lunar y Rinconada.

### 1.3.1 ACTIVIDAD MINERA FORMAL.

En el siguiente cuadro, se observa la relación de las compañías mineras activas e inactivas que tienen unidades en la cuenca del río Carabaya.

#### EMPRESAS MINERAS EN LA CUENCA DEL RIO CARABAYA

Nombre Planta Distrito Provincia Estado

NOMBRE	PLANTA	DISTRITO	PROVINCIA	ESTAD O
Minera Ananea	Ana maría	Ananea	San Ant. de putina	Activa
Cemento sur s.a.	Cemento sur	Caracoto	San Román	Activa
Minera carabaya S.A.	Santa lucia	Carabaya	Puno	Inactiva
Minera carabaya S.A	Quenamari	Carabaya	Puno	Inactiva
Minera los rosales S.A.	Conc. Los rosales	Vilque chico	Huancané	inactiva
MINSUR	San Rafael	Antauta	Melgar	Activa
Minera Regina S.A	Rocio N° 2	Inchupalla	Huancané	Inactiva
Minera de Pomasi	Pomasi	Palca	Lampa	Inactiva

**Fuente:** KLOHN CRIPPEN-SVS S.A. 1995.

#### Minera Aurífera Ana María.

Sus actividades se concentran en los parajes denominados Rinconada y Lunar de Oro, en el distrito de Ananea, Provincia de San Antonio de Putina.

Una característica de la minería que se practica en la zona es la explotación subterránea mediante el “busconeo”, tratando de seguir la parte más rica del manto y dejando de tratar áreas mineralizadas de baja ley que podrían ser trabajadas utilizando procesos más eficientes.

La explotación mediante labores descendentes (piques) desordenados que permiten el ingreso a los mantos inferiores, ha originado problemas de sostenimiento, haciendo inseguras las labores.

### **1.3.2 ACTIVIDAD MINERA INFORMAL.**

Existe actividad minera informal en el nevado de Ananea, en las zonas de Lunar de Oro y Rinconada. Alrededor de 18,000 personas se encuentran involucradas directa o indirectamente en esta actividad. La explotación en mina se realiza por medio de labores subterráneas, las cuales van desde el tipo artesanal con picota hasta algunas otras con equipos de perforación mecanizados.

Los avances son efectuados en forma incontrolada, no existiendo ningún tipo de planeamiento de minado, razón por la cual existen ciertos problemas de sostenimiento.

El principal impacto en el ambiente se origina en la amalgamación con mercurio y la posterior volatilización del mismo. Este tipo de actividades implica la disposición de relaves en los lechos de los pequeños cursos de agua que drenan en dirección a la Laguna Rinconada, así como la potencial inhalación de mercurio durante el refogado de la amalgama.

### **San Antonio de Poto (Ananea)**

El acceso por vía terrestre desde la ciudad de Juliaca es mediante carretera afirmada a Putina y Ananea. Las labores se encuentran aproximadamente a 600 m desde la carretera hacia la Rinconada y al río Crucero.

Existen trabajadores mineros informales en la zona, los que están agrupados en las cooperativas: Señor de Ananea, San Juan de Dios, Santiago, El Dorado y el Halcón con un promedio de 50 trabajadores cada una.

Obtienen 6 gr de oro por persona al mes en el lado que desemboca al desaguadero de la laguna Rinconada (bofedales) y 20 gr por persona al mes en el otro lado (cerca de la mina San Antonio de Poto).

La zona también alberga a pequeños mineros asociados en cooperativas que se encuentran explotando en los alrededores. Las aguas residuales y relaves son arrojados a la margen izquierda del río que se origina en la laguna Rinconada, habiendo creado un área muy extensa con los desmontes y relaves expuestos al aire libre y formado además zonas hidromórficas.

Así mismo, junto a la laguna Sillacunca (parte baja) se ubica un depósito de desmontes y aguas abajo se encuentran pequeños mineros extrayendo minerales del cauce del río que nace en la laguna.

Existen estudios de la universidad Nacional del Altiplano con la Universidad de Montana en la Cuenca ramis pero casi no existen estudios de la cuenca Suches.



#### 1.4. JUSTIFICACION.

El presente proyecto de investigación queda plenamente justificado en cuanto La acción antrópica del hombre, por lo general, causa diversos tipos de contaminación y dentro de ellas la del agua por sus diversos usos y usuarios es muy común.

Una de estas actividades es principalmente la actividad minera que en el distrito de Cojata desde hace mucho tiempo hasta la actualidad es una de las principales actividades económicas sobre todo en las partes altas del distrito de Cojata las cuencas hidrográficas, y al realizar su explotación en forma inadecuada sin el respeto de los instrumentos de gestión ambiental existentes, se logra producir contaminación del agua principalmente que afecta a los usuarios de los pobladores de la zona.

El río Suches es uno de los tributarios más importantes del Lago Titicaca. Las operaciones mineras son producidas principalmente por mineros informales que invadieron, en la zona de Mina Suches, Antaquilla, Nevado infinito y otros en el Distrito de Cojata ubicada en la parte alta de la cuenca, mal llamados mineros artesanales; ya que en su explotación utilizan maquinaria pesadas lo cual causan problemas de contaminación todo ello genera el conflicto por el uso del agua y la desaparición de la flora y fauna.

La presencia de mercurio en las aguas del rio suches pone en riesgo la biodiversidad y la vida de personas que resultan intoxicadas por la ingesta de alimentos envenenados. Está probado que el mercurio puede generar retrasos en el desarrollo neurológico de los adultos y especialmente en los niños.

En el distrito de Cojata – Huancané, existe una descarga incontrolada de mercurio, por lo que se hace necesario una: **Determinación del contenido de mercurio en agua y sedimentos del rio suches-zona bajo paria Cojata - Puno.**

## **1.5. HIPOTESIS.**

### **1.5.1. HIPOTESIS GENERAL.**

- Permitirá conocer mediante la evaluación, que el rio suches este contaminado con mercurio en agua y sedimentos, el cual determinara la calidad del agua de acuerdo a los estándares.

### **1.6.2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS.**

- Los contenidos de mercurio en agua y sedimentos, permiten determinar la calidad ambiental del rio suches del Distrito de Cojata
- La calidad del agua del rio suches permite cotejar con los estándares de calidad ambiental.

## **1.6. OBJETIVOS.**

### **1.6.1. OBJETIVO GENERAL.**

- Evaluar la concentración del mercurio en agua y sedimento en el rio suches en la zona de bajo paria del distrito de Cojata Puno.

### **1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.**

- Determinar los contenidos existentes de mercurio en agua y sedimento del rio Suches en el distrito de Cojata– Puno, con parámetros físicos y químicos relevantes.
- Determinar la calidad del agua del rio suches con respecto a los estándares ambientales.

### 1.7. UBICACIÓN.

**Cojata** es un distrito de la provincia de Huancané en el departamento peruano de Puno. En el año 2007 tenía una población de 4354 habitantes y una densidad poblacional de 4,9 personas por km<sup>2</sup>. Abarca un área total de 881,18 km<sup>2</sup>.

Cojata, es uno de los distritos más antiguos de la provincia de Huancané, en la región de Puno, distrito que tiene mucha importancia en la producción ganadera y el comercio internacional mediante el sistema de Khatus o mercados rurales, Así mismo es una zona donde existe minería informal e ilegal ubicado en la frontera con la hermana república de Bolivia.

Foto 01: Cojata





## CAPITULO II

### MARCO TEORICO.

#### 2.1. QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN.

Contaminación se define como la presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico o biológico o de una combinación de varios agentes, en lugares, formas y concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, seguridad o bienestar de la población, o perjudiciales para la vida animal o vegetal.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan a nuestro mundo y surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la adición de cualquier sustancia al medio ambiente, en cantidad tal, que cause efectos adversos en el hombre, en los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles aceptables en la naturaleza.

La contaminación puede ser química (mediante elementos o compuestos químicos en estado sólido, líquido o gaseoso), física (calor, ruido, radioactividad), o biológica (bacterias, virus y otros microorganismos).

La contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, ya sea debido a residuos urbanos o industriales, puede realizarse a través de una serie de agentes: bacterias, virus y otros microorganismos, materia orgánica, metales pesados (mercurio, cadmio, arsénico, cobre, zinc, cromo y vanadio), detergentes, insecticidas, fungicidas, alguicidas, etc. Los principales contaminantes que llegan a los mares son: aguas residuales de origen urbano, metales pesados, herbicidas, pesticidas, desechos y productos industriales, sustancias radioactivas, petróleo y sus derivados. A medida que aumenta el poder del hombre sobre la naturaleza y aparecen nuevas necesidades como consecuencia de la vida en sociedad, el medio ambiente que lo rodea se deteriora cada vez más.

Los suelos pueden contaminarse con los desechos urbanos, Entre los contaminantes más frecuentes emitidos a la atmósfera se hallan los propelentes de aerosoles (propano, butano), óxidos de azufre (principalmente anhídrido sulfuroso), monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno (óxido nítrico y dióxido de nitrógeno), hidrocarburos (ej. etileno), compuestos halogenados (cloro, fluoruro de hidrógeno, cloruro de hidrógeno y ciertos haluros), metales tóxicos como el plomo y el mercurio.

El comportamiento social del hombre, que lo condujo a comunicarse por medio del lenguaje, que posteriormente formó la cultura humana, le permitió diferenciarse de los demás seres vivos. Pero mientras ellos se adaptan al

medio ambiente para sobrevivir, el hombre adapta y modifica ese mismo medio según sus necesidades.

El progreso tecnológico, por una parte y el acelerado crecimiento demográfico, por la otra, producen la alteración del medio, llegando en algunos casos a atentar contra el equilibrio biológico de la Tierra. No es que exista una incompatibilidad absoluta entre el desarrollo tecnológico, el avance de la civilización y el mantenimiento del equilibrio ecológico, pero es importante que el hombre sepa armonizarlos. Para ello es necesario que proteja los recursos renovables y no renovables y que tome conciencia de que el saneamiento del ambiente es fundamental para la vida sobre el planeta

## **2.2. CLASES DE CONTAMINACIÓN.**

### **a. CONTAMINACIÓN DEL AGUA:**

Es la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales, y de otros tipos o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos.

### **b. CONTAMINACIÓN DEL SUELO:**

En el distrito de Cojata el daño que se causa a los suelos es de la misma magnitud que el que se causa al agua y al aire, aunque en realidad algunas veces es menos evidente para nosotros; sin embargo, es importante conocer los lugares donde es más probable que se contamine el suelo. Algunos de

estos sitios son: la comunidad de Aurora, Piñune, Chajana, Mallcunuta, Tumapiura, Coricancha, Humabamba, Huancasaya entre otros.

### **c. CONTAMINACIÓN MINERA.**

Se han realizado estudios diversos sobre contaminación de la cuenca del río Suches, igualmente se realizaron intentos de dar solución, para ello se han organizado, por ejemplo, talleres con los mineros sin poder llegar a una solución definitiva.

Por otro lado, los ganaderos han solicitado la declaratoria de emergencia ambiental de la cuenca a través de memoriales, pero, igualmente los mineros utilizando las mismas estrategias mostraron su contrariedad y su no disponibilidad en suspender sus actividades mineras.

Por otro lado, la contaminación de las aguas es producida por los mineros artesanales informales quienes explotan oro sin las consideraciones mínimas de los instrumentos de gestión ambiental, ubicados en los lugares de Playa Verde, Santa María, Minas Pampa, Nevado Infinito, Minas Suches, y otros del Distrito de Cojata; quienes en el proceso de explotación requieren del uso de mercurio cuyos residuos son transportados a la cabecera del río Suches del distrito Cojata- Huancané. Estos mineros en el momento se encuentran en proceso de formalización, destacándose que este proceso es realizado en el nivel central más no en el nivel regional y/o local que es donde debería realizarse.

Es evidente que la contaminación de la cuenca del Río Suches por metales pesados y sus efectos en las especies, conforme lo muestran en un estudio la

Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, quienes realizaron el estudio sobre la contaminación del lago Titicaca por Mercurio y otros elementos.

#### **d. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.**

Según el reporte de conflictos N° 72 de la Defensoría del Pueblo, hasta el 28 de febrero de 2010, se registraron 252 conflictos sociales, de los cuales, 121 están relacionados a temas socioambientales. Uno de ellos es el problema de la contaminación minera en el río Suches.

El distrito de Cojata, en la provincia de Huancané, es la jurisdicción más afectada por los relaves mineros del río Suches. Sus habitantes utilizan las aguas del río para el riego de pastizales y abastecimiento de bofedales, no obstante desde que opera la minería informal se ha generado la mortandad del ganado y otros animales existentes en la zona. Así indicó el gobernador del distrito de Cojata, Felipe Bravo, "desde que llegaron estas mineras, que en su mayoría son bolivianas, arrojan tóxicos al río sin medir las consecuencias". Sostuvo además que el año 2008 dirigentes y autoridades de la zona enviaron memoriales al Ministerio de Energía y Minas, dando a conocer la situación pero hasta el día de hoy no han obtenido respuesta. Lo cierto es que a ambos lados de la frontera se realiza actividad minera informal sin control ni criterio técnico, provocando un negativo impacto ambiental.



## **2.3. IMPACTOS DE LA MINERÍA ARTESANAL.**

Los principales impactos que genera la minería artesanal en el país son de carácter ambiental y socioeconómico.

### **2.3.1. IMPACTOS AMBIENTALES.**

El impacto ambiental que genera la minería ilegal es por contaminación de los suelos, agua y aire. El gran movimiento de tierras que ocasiona la extracción de los mineros afecta la topología de la zona donde se realiza la explotación, ocasionando la alteración de ecosistemas y la pérdida de hábitat para algunas especies.

Los procesos de beneficiación de los minerales, que son extraídos de forma ilegal, producen residuos tóxicos, ya sea por los insumos utilizados o por la liberación de sustancias químicas como resultado del proceso.

### **2.3.2. CONTAMINACIÓN POR MERCURIO.**

La contaminación por mercurio es el principal problema ambiental, además tiene efectos perniciosos para la salud de los trabajadores y su entorno. El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio para amalgamar el oro ocasiona que grandes cantidades de esta sustancia se pierdan y viertan en el medio ambiente en forma de gaseosa o líquida.

La pérdida del mercurio líquido se produce durante la amalgamación del oro en los quimbaletes, donde se realiza la separación del mismo. En este proceso se calienta la mezcla mercurio tierra con el fin de extraer el oro. El mercurio se

evapora dejando solo oro. Ese gas es el que es llevado por el viento y una vez frío se condensa y se introduce en el suelo y cuerpos del agua.

La porción acuosa del relave tiene alto contenido de mercurio y oro. El contenido de esta sustancia será mayor si el mercurio utilizado es reciclado. En ese estado pierde su poder de amalgamación y los mineros suelen añadir más mercurio, agravando aún más la contaminación.

### **2.3.3. CONTAMINACIÓN POR CASCAJO.**

La extracción ilegal puede producir deforestación, movimiento de tierras, erosión forzada, acumulación de gravas que conlleva a la eliminación de la cobertura vegetal (tala y quema de bosques). La acumulación de material grueso, que resulta del lavado de grava durante el proceso de recuperación del oro, al estar desprovista de material fino, no ofrece el sustrato adecuado para la recuperación natural.

### **2.3.4. CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS.**

En el proceso de la extracción de oro en la minería ilegal se incrementan sólidos en suspensión en el agua, que afecta la vida acuática. Se produce una descarga de sedimentos con la siguiente contaminación y modificación morfológica de los cauces.

La contaminación de las aguas podría provocar el trastorno y hasta la desaparición de la flora y fauna, además del alejamiento de la fauna terrestre.

## 2.4. EQUILIBRIO ECOLÓGICO.

Es el resultado de la interacción de los diferentes factores del ambiente, que hacen que el ecosistema se mantenga con cierto grado de estabilidad dinámica,

La relación entre los individuos y su medio ambiente determinan la existencia de un equilibrio ecológico indispensable para la vida de todas las especies, tanto animales como vegetales. Los efectos más graves han sido los ocasionados a los recursos naturales renovables. Los efectos más graves han sido los ocasionados a los recursos naturales renovables: El agua, el suelo, la flora, la fauna y el aire.

El gran desarrollo tecnológico e industrial ha sobrepasado la capacidad de la naturaleza para restablecer el equilibrio natural alterado y el hombre se ha visto comprendido.

El mayor problema de las comunidades humanas es hoy en día la basura, consecuencia del excesivo consumo. Los servicios públicos se tornan insuficientes y la cantidad de basura como desecho de esa gran masa poblacional adquiere dimensiones críticas y ha perturbado los ecosistemas.

Los desperdicios de los alimentos y materias orgánicas contenidas en la basura, constituyen un problema de salud porque son criadores de insectos, responsables de la transmisión de enfermedades como gastroenteritis, fiebre tifoidea, paludismo, encefalitis, etc., atrae ratas que intervienen en la propagación de la Peste Bubónica, el tifus, intoxicaciones alimenticias y otros.

## 2.5. MERCURIO.

El mercurio o azogue es el elemento químico de número atómico 80. Su nombre y abreviatura (Hg) procede de hidrargirio, que a su vez procede del latín hidrargirium, que a su vez proviene del griego hydrargyros (hydros=agua y argyros=plata).

El mercurio existe de manera natural en el medio ambiente en una gran variedad de formas, al igual que el plomo y el cadmio, el mercurio es un metal pesado constitutivo de la tierra. En su forma pura, se conoce como mercurio “elemental” o “metálico”, representado también como Hg(0). Rara vez se le encuentra en su forma pura, como metal líquido; es más común en compuestos y sales inorgánicas. El mercurio puede enlazarse con otros compuestos como mercurio monovalente o divalente representado como Hg(I) y Hg(II), respectivamente. A partir de Hg(II) se puede formar muchos compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio. Los niveles de mercurio en el medio ambiente han aumentado considerablemente desde el inicio de la era industrial. El mercurio se encuentra actualmente en diversos medios y alimentos (especialmente el pescado) en todas partes del mundo a niveles que afectan adversamente a los seres humanos y la vida silvestre.

La actividad del hombre ha generalizado los casos de exposición, y las prácticas de pasado han dejado un legado de mercurio en vertederos, los desechos de la minería y los emplazamientos, suelos y sedimentos industriales contaminados. Hasta las regiones donde se registran emisiones mínimas de mercurio, como el Ártico, se han visto adversamente afectadas debido al transporte transcontinental y mundial del mercurio.

La fuente más importante de contaminación con mercurio son las emisiones al aire, pero se producen también emisiones de mercurio de diversas fuentes que van directamente al agua y a la tierra. Una vez liberado, el mercurio permanece en el medio ambiente, donde circula entre aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota en diversas formas.

La forma en que se libera el mercurio varía según los tipos de fuentes y otros factores. 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. Las emisiones restantes se producen en forma de mercurio gaseoso, inorgánico, iónico (como cloruro de mercurio) o consolidado en partículas emitidas. Estas formas tienen un periodo de vida más corto en la atmósfera y se pueden depositar en tierras o masas de agua a distancias aproximadas de 100 a 1000 kilómetros de su fuente. El mercurio elemental en la atmósfera puede transformarse en mercurio iónico, que crea una vía importante para el depósito del mercurio elemental emitido.

Una vez depositado, el mercurio puede cambiar de forma (principalmente por metabolismo microbiano) y convertirse en metilmercurio, que tiene la capacidad de acumularse en organismos (bioacumulación) y concentrarse en las cadenas alimenticias (biomagnificación), especialmente en la cadena alimentaria acuática (peces y mamíferos marinos). El metilmercurio es, pues, la forma que causa mayor preocupación. Casi todo el mercurio que se encuentra en los peces es metilmercurio.

## 2.6. FORMAS DE MERCURIO.

El mercurio elemental o mercurio metálico, es el elemento en su forma pura, su forma “no combinada”. Es un metal brillante, con un color de plata blanquecina. Es líquido a temperatura ambiente, pero rara vez se encuentra en esta forma en el medio ambiente. Si no se aísla, el mercurio se evapora lentamente, formando un vapor. La cantidad de vapor que se forma aumenta a medida que aumenta la temperatura. El mercurio elemental se usa tradicionalmente en los termómetros y en algunos interruptores eléctricos.

Entre los compuestos inorgánicos de mercurio o sales de mercurio, que son más comunes en el medio ambiente, podemos citar el sulfuro de mercurio ( $\text{HgS}$ ), el óxido de mercurio ( $\text{HgO}$ ) y el cloruro de mercurio ( $\text{HgCl}_2$ ). La mayoría de estos 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 por ejemplo el cloruro de mercurio, también forman vapor. Pero estos se quedan en el aire durante un periodo de tiempo más corto que el mercurio elemental, porque son más solubles en agua y más reactivos. El mercurio se forma cuando se combina el mercurio con carbono y otros elementos. Algunos ejemplos de compuestos orgánicos de mercurio son el dimetilmercurio, el acetato de fenilmercurio y el cloruro de metilmercurio. La forma más común que encontramos en el ambiente es el metilmercurio.

## 2.7. PRODUCCION Y USOS DEL MERCURIO.

La corteza terrestre con tiene un promedio de aproximadamente 0.02 ppm de mercurio. El aire contiene en promedio 0.005 – 0.06  $\text{mg/m}^3$ , el agua dulce 0.1

mg/L, el agua del mar 0.03 mg/L de mercurio, todo esto proveniente de las erupciones volcánicas, principalmente. Existen más de 20 minerales diferentes que contienen mercurio. De ellos, solo el sulfuro de mercurio (cinabrio).

Los yacimientos más importantes de mercurio están en rocas volcánicas o en pizarras negras (bituminosas). Los suelos contienen 20 – 150 ppb de mercurio. Algunos yacimientos se explotan exclusivamente por mercurio (como en Almadén, España, donde en el transcurso de los siglos se ha explotado más de 250 000 toneladas de mercurio y actualmente se conocen reservas de 75 000 tn). Sin embargo, una gran parte del mercurio producido tiene su origen como subproducto de la explotación de yacimientos sulfurosos de otros metales, mientras otra parte es producida por reciclaje de materiales secundarios.

Por su baja temperatura de ebullición, el mercurio es destilado directamente de sus minerales. En algunos casos ni se utilizan procesos de pre concentración, solo se calienta el material triturado directamente en varios tipos de hornos para luego enfriar los gases y recuperar el mercurio metálico por condensación.

Los principales productores de mercurio en el mundo son: Argelia, China, Checoslovaquia, Finlandia, Kirguistán, México, Marruecos, etc.

Hay tres tipos de mercurio:

- a) Elemental
- b) Inorgánico
- c) Orgánico

El mercurio elemental se puede encontrar en:

- Termómetro de vidrio
- Interruptores eléctricos
- Bombillas de luz fluorescente
- Obturaciones dentales viejas
- Algunos equipos médicos

El mercurio inorgánico se puede encontrar en:

- Laboratorios de química
- Algunos desinfectantes
- Medicamentos de la cultura popular
- Mineral cinabrio rojo

El mercurio orgánico se puede encontrar en:

Antisépticos viejos, como mercurio rojo (merbromin), una sustancia que actualmente está prohibida por la FDA Tiomersal. Emanaciones de humo de la combustión del carbón convertidas en mercurio orgánico por ciertos organismos.

Peces que hayan ingerido una forma de mercurio orgánico llamado metilmercurio.

## **2.8. CONTAMINACIÓN DE AGUAS POR MERCURIO.**

Frecuentemente se producen derrames accidentales de mercurio, por la falta de normas y sanciones ejemplares que permitan su transporte en frascos



estándar con capacidad de 34 kilos de mercurio (Así como el petróleo se mide en barriles, la unidad de medida del mercurio es el frasco) los frascos más comunes que se utiliza son de 75 ml que tiene un peso de 1kg.

Es prácticamente imposible la remoción y encapsulamiento del suelo contaminado, así es que con el agua de las precipitaciones pluviales y la escorrentía, el mercurio es transportado, cada vez a lugares más bajos, hasta llegar a las lagunas y ríos.

## **2.9. EMISIONES ANTROPOGENICAS DEL MERCURIO.**

Una gran parte del mercurio presente en estos momentos en la atmosfera es el resultado de muchos años de emisiones antropogenas. Es decir de calcular el componente natural de la carga total en la atmosfera, aunque los datos disponibles parecen indicar que las actividades antropogenas han incrementado los niveles de mercurio en la atmosfera en un factor aproximando de tres, las tasas medias de sedimentos en un factor de 1,5 a 3 y la sedimentación en las proximidades de zonas industriales en un factor de 2 a 10.

En lo que se refiere a las liberaciones antropogénicas, la proporción relativa de las liberaciones derivadas de usos internacionales por oposición a los movilización de impurezas de mercurio varía mucho de un país a otro y de una región a otra, en particular según el alcance de la sustitución de los usos intencionales (productos y procesos); la dependencia de los combustibles fósiles, en particular el carbón, para la producción de energía; la envergadura de las operaciones de la industria minera y de extracción de minerales; las

prácticas de eliminación de desechos y el estado de la aplicación de tecnologías de control de contaminación.

En los países en que se practica la minería del mercurio o se utiliza el mercurio para la minería en pequeña escala del oro o la plata, estas fuentes pueden ser muy importantes. Algunos de los procesos antropogénicos más importantes que movilizan impurezas de mercurio son la generación de energía y calor a partir del carbón, la producción de cemento; y la minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y procesamiento de materiales minerales, como la producción de hierro y acero, zinc y oro.

Algunas fuentes importantes de liberaciones antropogénicas que se producen a raíz de la extracción y el uso intencional del mercurio comprenden la minería del mercurio, la minería del oro y la plata en pequeña escala; la producción de cloro alcalino; el uso de lámparas fluorescentes y otros instrumentos y su rotura accidental; las amalgamas dentales; la fabricación de productos que contienen mercurio, el tratamiento de desechos y la incineración de productos que contienen mercurio; los vertederos y la cremación.

## **2.10. FUENTES PUNTUALES.**

Las emisiones de mercurio se pueden agrupar en cuatro categorías:

- a) Fuentes naturales liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la cantidad volcánica o la erosión en las rocas
- b) Las actuales liberaciones antropogenas (asociadas con la actividad humana) resultantes de la movilización de impurezas de mercurio en

materias primas como los combustibles fósiles en particular el carbón y menor medida el gas y el petróleo y otros minerales extraídos, tratados y reciclados.

- c) La actual liberación antropogénas resultantes del uso intencional del mercurio en productos y procesos durante la fabricación, los derrame, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo.
- d) La re movilización de liberaciones antropogénas pasadas de mercurio anteriormente depositado en suelos, sedimentos, masas de agua vertederos y acumulaciones de desechos o residuos.

### **2.11. FUENTES DE PRODUCCIÓN.**

La producción de mercurio incluye no solo su extracción de betas minerales (producción primaria), sino también la denominada producción secundaria que viene dada por el reciclaje, la recuperación y la reutilización del mercurio en procesos industriales. En 1997, la producción secundaria de mercurio en el mundo suponía aproximadamente un 40 % de producción primaria.

**Producción primaria de mercurio.-** La mayoría de depósitos minerales de mercurio se encuentran a niveles relativamente superficiales (desde unos pocos metros hasta 700 metros). La explotación de gran parte de estos depósitos es a partir de excavaciones subterráneas, pues los depósitos suelen ser demasiado pequeños e irregularmente distribuidas como para hacer rentables minas abiertas. El método más utilizado para el proceso del mineral de mercurio es sencillo y barato : consiste en calentar el mineral a temperatura en los que el cinabrio no es estable y descompone, para dar mercurio y azufre

volátiles, a continuación, el mineral no es suficiente rico en mercurio, son necesarios algunos procesos de beneficiación, siendo la flotación el más utilizado.

**Producción secundaria de mercurio.-** existen dos categorías básicas en la producción secundaria de mercurio, recuperación de mercurio líquido procedente del desmantelado de equipamiento e industrial obsoleta y recuperación a partir de productos de desechos por técnicas extractivas. Desde el punto de vista de las cantidades, el mercurio recuperado como mercurio líquido es mucho mayor que el recuperado por técnicas extractivas.

Las tres áreas que contribuyen principalmente a la gran cantidad de mercurio líquido superado son:

- Desmantelado la industria cloro-álcali (proceso de catado de mercurio).
- Recuperación de los contadores de mercurio en tuberías en gas natural.
- Recuperación de rectificaciones y manómetros de mercurio.

La segunda categoría comprende el tratamiento de productos de desecho que contienen mercurio, residuos industriales y fangos, el método más común es el tratamiento térmico, donde los productos de desecho son sometidos a temperaturas de hasta 538°C para vaporar el mercurio.

Los vapores de mercurio son entonces, recogidos en condensadores de agua, por otro lado, el tratamiento químico abarca todos aquellos procesos que permiten el tratamiento de aguas contaminadas por mercurio (precipitación, técnicas de intercambio iónico, etc.)

Dentro de las fuentes diversas se encuentran aquellas fuentes no clasificadas como de combustión o de producción o aquellas otras que emiten en circunstancias puntuales y no regularmente. Su incidencia, en comparación con las dos anteriores fuentes puntuales descritas, es muy pequeña, incluyen plantas de energía geotérmica, pigmentos, catalizadores de mercurio, explosivos, etc.

## 2.12. EL MERCURIO Y METILMERCURIO EN EL MEDIO AMBIENTE.

Como se ha podido observar, el metilmercurio es una de las especies de mercurio más tóxico para un gran número de seres vivos en el conjunto de la cadena trófica, ciertamente existen otras especies de mercurio (la mayoría también organometálicas) más tóxicas que el propio metilmercurio pero sin embargo su incidencia en el medio ambiente (y por lo tanto el riesgo de los seres vivos a ser expuestos a ellas).

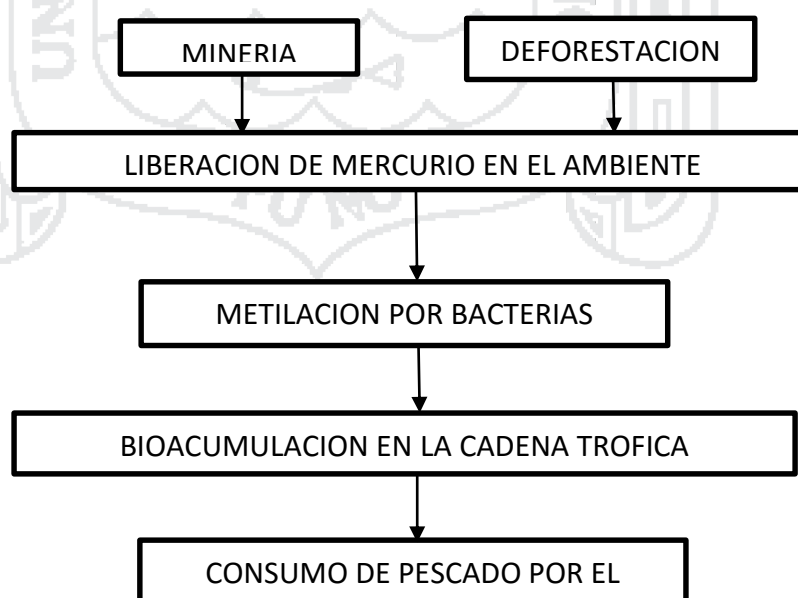


Figura N° 1 Fuentes y caminos del mercurio.

Excepto casos puntuales como los descritos para la bahía de Mina mata o las semillas contaminadas de Irak, el metilmercurio que se encuentra en el medio ambiente no tiene un origen antropogénico sino proviene de la conversión biótica o abiótica del mercurio inorgánico, los mecanismos de metilación tanto en uno como otro caso no son totalmente conocidos, si bien es cierto que después de más de una década de estudios se han conseguido definir muchos detalles del proceso, a la hora de estimar la bioacumulación neta de metilmercurio, deben también tenerse en cuenta las reacciones inversas (demetilación) que también se dan de manera natural en el medio ambiente.

### **2.13. METILACION DEL MERCURIO INORGANICO.**

De las posibles vías de metilación del mercurio inorgánico, la metilación, la metilación biótica parece ser la más común en la mayoría de ambientes en los que la metilación tiene lugar.

La metilación biótica se encuentra íntimamente relacionada con la actividad de las bacterias sulfurreductoras que se encuentra en sedimentos de ríos y lagos.

Aunque se han descrito otros mecanismos basados en otro tipo de bacterias, se calcula que aproximadamente el 95% de la biometilación del mercurio es llevada a cabo por microorganismos sulfurreductoras, el rendimiento o la eficiencia en la biometilación dependerá por supuesto de la actividad de estas bacterias, pero también de otros parámetros, como:

- Nivel de oxigenación del sedimento/agua, varios estudios han demostrado que la biometilación se produce casi exclusivamente en condiciones anoxicas.

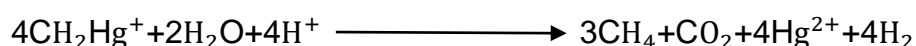
- Existencia de una concentración mínima de sulfato en el medio, puesto que la metilación se acopla a la reducción de sulfato a sulfuro por parte de las bacterias sulforeductoras, deben existir el substrato necesario para la actividad de dichas bacterias. La concentración óptima ion sulfato dependerá de cada ambiente concreto.
- Presencia de sulfato en el medio, ya sea como producto de la propia actividad de las bacterias sulfureductoras o por otros motivos, la presencia de concentraciones altas de ion sulfuro blanquea la actividad de dichos microorganismos y por lo tanto la conversión del mercurio inorgánico a metilmercurio, algunos autores sugieren que elevadas concentraciones de sulfuro en el medio favorecen también la reacción de precipitación de HgS en lugar de la metilación del mercurio inorgánico.
- Presencia de grupos metilos, acetados y resina han sido ensayados como posible candidato a aportar el grupo metilo necesario en la reacción de metilación del mercurio inorgánico.
- Especie original del mercurio inorgánico, la forma en la que el mercurio se encuentra inicialmente puede determinar en gran medida la eficiencia del proceso. Estudios recientes sugieren al sulfuro de mercurio (II) como una de las especies iniciales más apropiadas para que la reacción de metilación tenga lugar, puesto que la reacción de conversión se da en el interior de la cedula bacteriana, aquellas especies de mercurio inorgánico con una mayor facilidad para atravesar la pared celular darán lugar a eficiencias en la reacción de metilación mayores, al parecer el carácter neutro del HgS así como su pequeño tamaño confieren a esta especie ciertas ventajas sobre otras de mercurio orgánico.

- No todas las bacterias sulforeductoras tienen la capacidad de convertir el mercurio orgánico en metilmercurio, al parecer, esta capacidad esta también ligada a la presencia de ciertos enzimas que permiten a la bacteria reconocer al  $Hg^{2+}$  como un sustrato alternativo.

En cuanto a los mecanismos de metilación abiótica de mercurio inorgánico, el más habitual viene dado por transmetilación por parte de especies organometálicas de otros metales, como plomo, arsénico o estaño. En determinados ambientes fluviales se estima que este mecanismo puede ser el mayoritario en detrimento de la metilación biótica.

#### **2.14. DEMETILACION DEL METILMERCURIO.**

A diferencia de la metilación del mercurio inorgánico, la demetilación bacteriana del metilmercurio se encuentra perfectamente caracterizado, esta reacción ocurre en bacterias que oponen resistencia a los órganos mercuriales y es factible por la presencia del gen organomercurial que permite a la bacteria romper el enlace mercurio – carbono del metilmercurio, existen dos mecanismos principales, en función de cual sea la bacteria implicada (y en consecuencia con sustratos iniciales diferentes). Si la degradación viene dada por bacterias metanogénicas, la reacción estequiométrica que ocurre es la expresada en la ecuación, implicando la formación del metano.



El segundo grupo de bacterias es de las propias sulforeductoras, encargadas también de la metilación del mercurio inorgánico, en este caso, los productos finales son sulfuro y dióxido de carbono.



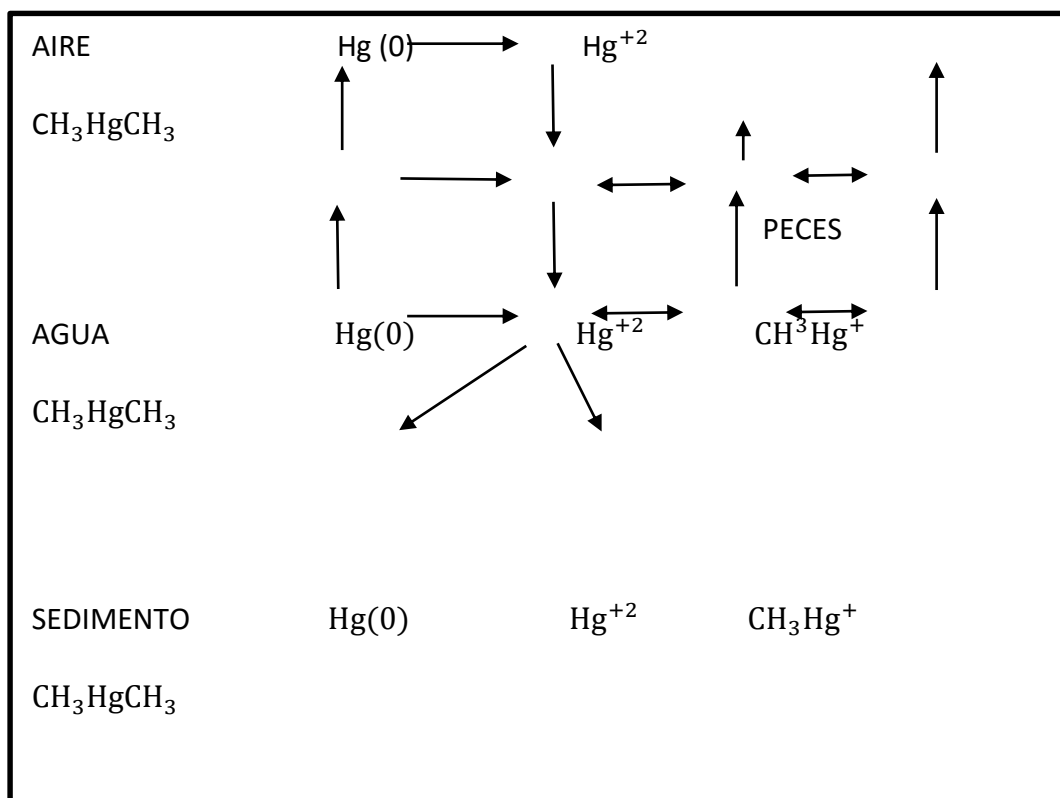
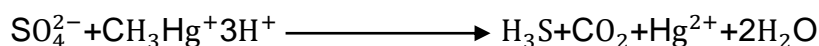


Figura N° 2. Ciclo geométrico del mercurio

### 2.15. TOXICIDAD DEL MERCURIO EN SERES VIVOS.

Este elemento es una poderosa neurotóxina, que afecta gravemente al sistema nervioso, los riñones e hígado. Provoca trastornos mentales y daños en el sistema motor, el sistema reproductor, en el habla, la visión y el oído y puede acabar causando la muerte.

**Mercurio Elemental.-** El mercurio elemental es inofensivo en caso de ser ingerido o tocado. Es tan denso y resbaladizo que generalmente se desprende de la piel o del estómago sin ser absorbido. Sin embargo, se puede presentar daño considerable si el mercurio se convierte en gotitas aéreas pequeñas que se inhalan hacia los pulmones. Esto a menudo puede ocurrir por error cuando la gente trata de aspirar el mercurio que se ha derramado en el suelo.

La inhalación del mercurio elemental causa síntomas inmediatamente (agudos) si se trata de una cantidad considerable. Los síntomas también se presentan con el tiempo si se inhalan pequeñas cantidades de mercurio todos los días. Si esto ocurre, los síntomas pueden abarcar:

- Sabor metálico
- Vómitos
- Dificultad respiratoria
- Tos fuerte
- Encías inflamadas y sangrantes

Dependiendo de la cantidad de mercurio inhalado, se puede presentar daño pulmonar permanente y la muerte. Asimismo, se puede presentar daño cerebral a largo plazo a raíz de la inhalación de mercurio elemental.

**Mercurio inorgánico.-** Generalmente es tóxico cuando se lo ingiere y dependiendo de la cantidad ingerida, los síntomas pueden abarcar:

- Ardor en la garganta y el estómago
- Diarrea y vómitos con sangre

Si el mercurio inorgánico ingresa al torrente sanguíneo, puede atacar los riñones y el cerebro, y presentarse insuficiencia y daño renal permanente. Una sobredosis grande puede ocasionar sangrado profundo y pérdida de líquidos por la diarrea, insuficiencia renal y muerte.

**Intoxicación por derivados orgánicos.-** La intoxicación aguda se caracteriza por derivados inorgánicos: gastroenteritis aguda, estomatitis, colitis ulcerosa

hemorragia: Intestino grueso, anuria: por depósito de sustancias a nivel renal, se taponan el riñón y no filtra.

**Mercurio orgánico.-** El mercurio orgánico. Puede causar enfermedad si es inhalado, ingerido o puesto sobre la piel por periodos de tiempo prolongados. Este tipo de mercurio generalmente causa en años o décadas, más no inmediatamente. En otras palabras, estar expuesto a pequeñas cantidades de mercurio orgánico todos los días durante años probablemente hará que los síntomas aparezcan posteriormente. A pesar de todo, una sola exposición grande también puede causar problemas.

Sus síntomas son:

- Gastroenteritis aguda
- Estomatitis (afectación de mucosas bucales, encías)
- Colitis ulcero-hemorragia: intestino grueso
- Anuria: por depósito de sustancias en los túmulos renales, se taponan el riñón y no filtra.
- Entumecimiento o dolor en ciertas partes de la piel
- Estremecimiento o temblor incontrolable
- Incapacidad para caminar bien
- Ceguera y visión doble
- Problemas con la memoria
- Convulsiones y muerte

La evidencia medica sugiere que estar expuesto a grandes cantidades del mercurio orgánico llamado metilmercurio durante el embarazo puede dañar en

forma permanente el cerebro en desarrollo del bebe. La mayoría de los médicos recomienda comer menos pescado, mientras se esté embarazada. Estas recomendaciones se hacen para que la persona sea extremadamente cautelosa.

Es improbable que las pequeñas exposiciones causen algún problema, las mujeres deben hablar con su médico acerca de los que deben y no deben comer mientras están embarazadas.

### **2.16 PROCESOS DE AMALGAMACIÓN DEL MERCURIO.**

Como amalgama se entiende en principio cualquier aleación del metal mercurio con otros metales. El proceso de alear otros metales con mercurio es por lo tanto denominado amalgamación en su sentido estricto. No obstante en la práctica de la minería artesanal y pequeña minería frecuente se utiliza el término de amalgamación para todo el proceso de obtención de oro de minerales con ayuda de mercurio.

La amalgamación es la técnica preferida por los pequeños mineros pues requiere poca tecnología e inversión de capital y por tal razón es factible que se siga practicando durante mucho tiempo.

En este proceso el oro es atrapado cuando entra en contacto con el mercurio formando una mezcla alterna viscosa y de color blanco brillante denominada amalgama (aleación de oro y mercurio). La recuperación final del metal precioso se realiza mediante un fuerte calentamiento al aire libre en un recipiente de metal o arcilla, técnica conocida comúnmente como “quema de la amalgama”.

Las emisiones de mercurio se producen tanto en forma de mercurio elemental durante la fase de amalgamación como también en forma de vapor durante la separación oro mercurio. Independiente de las costumbres y hábitos que existen en cada país, las mayores emisiones de mercurio se están produciendo durante las siguientes operaciones:

1. En la amalgamación en flujo abierto (canaletas, molinos, planchas amalgamadoras, etc.) que se realiza anterior, simultanea o posteriormente a la molienda o concentración y constituye la mayor fuente de emisión de mercurio en forma metálica.
2. En la operación de lavado del material procesado en circuito cerrado en barriles o tambores amalgamadores (amalgamación de concentrados o minerales de alta ley).
3. En la fase de separación oro-mercurio, especialmente durante la “quema abierta de la amalgama” que es la fuente de mayor producción de emisiones de mercurio en forma de vapor.
4. Durante el proceso de refinación del oro amalgamado.
5. Durante la comercialización de amalgamas, particularmente en los establecimientos de compra de oro.
6. En el transporte y almacenamiento (derrames sistemáticos de mercurio).

Los vapores de mercurio son absorbidos por los pulmones del operador en un 80%, se oxidan rápidamente a  $Hg^{++}$  y son transportados por la sangre a través de todo el organismo.

Esta forma de mercurio atraviesa las membranas celulares y se acumula en el hígado, intestinos, riñones y tejidos nerviosos. Una exposición crónica al

mercurio produce mercurialismo o hidrargirismo y es la más antigua enfermedad profesional que conoce el hombre.

En el medio ambiente, el mercurio emitido por la minería por la minería aurífera se acumula en forma de mercurio metálico y compuestos en los sedimentos de los ríos y los suelos, donde por acción bacteriana y bajo ciertas condiciones puede convertirse en mercurio orgánico (metil o dimetilmercurio), sustancia altamente toxica para el hombre.

El método más primitivo y simple de procesamiento en la pequeña minería aurífera primaria es el siguiente:

- ❖ Selección manual de trozos de mineral con chispas de oro.
- ❖ Trituración y molienda con un martillo manual.
- ❖ Lavado del material molido utilizando una batea para separar el oro grueso.
- ❖ Si el oro es fino, amalgamación manual del concentrado en batea.
- ❖ Estrujado de la amalgama utilizando un paño para separar el mercurio libre.
- ❖ Quema de la amalgama al aire libre para evaporar el mercurio.

La última etapa la realizan sin ningún equipo para recuperar mercurio, y sin utilizar implemento de seguridad alguno contra los vapores de este. Utilizan varias fuentes de calor, desde el carbón vegetal, sopletes a gas oíl, gas propano o acetileno, hasta las hornillas comúnmente utilizadas en las cocinas de los mineros.

Otro sistema de procesamiento, también rudimentario, utiliza una especie de mortero grande de piedra llamada toluca (piedra hueca y un bloque que se mueve en su interior), donde se muelen y amalgaman simultáneamente

porciones pequeñas y ricas de material triturado, prescindiendo de una etapa adicional de amalgamación.

En este proceso combinado, se produce mucho mercurio atomizado, que se pierde irremediablemente en las colas durante el proceso de levado en batea para separar la amalgama gruesa. Luego, la amalgama es tratada como se describió en el párrafo anterior. Existen muchas variantes de las técnicas descritas y debido a que todas son manuales y discontinuas, solamente se pueden procesar cantidades muy pequeñas, alrededor de 20 a 50 kg de carga por día/hombre, dependiendo de la dureza del material. Frecuentemente, recurren previamente a una trituración y molienda gruesa en seco, utilizando el llamado quimbaleta, también de piedra con el que se pueda triturar y moler hasta 200 kg por día/hombre.

### **2.17. SEPARACIÓN DEL ORO Y MERCURIO.**

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

El tipo más sencillo de condensador consiste de un tubo recto envuelto en trapos mojados. Construcciones más elaboradas incluyen una envoltura llena de agua o incluso un enfriador de contracorriente que emplea el agua como

refrigerante en un ciclo abierto o cerrado. La amalgama a ser separada se introduce en el crisol; puede estar envuelta en papel de la retorta.

Se consiguen mejores resultados aplicado una capa fina de cal, tiza, arcilla o talco al interior del crisol antes de que se lo cargue con amalgama. Esto evita que el oro se pegue al fondo y las paredes de la retorta luego de la destilación (nunca se debería utilizar materia grasa, ya que se evaporaría junto con el mercurio, desactivando su superficie para su posterior uso en el proceso). Luego, el crisol es cerrado y calentado para elevar la temperatura de la mezcla de oro y mercurio aproximado a  $400^{\circ}\text{C}$ , para que el mercurio se evapore. A medida que pasa por el condensador, el vapor de mercurio se condensa, aunque se habla de la quema de amalgama, esto no es una verdadera quema. Se trata as bien de la evaporación del mercurio en forma de vapor metálico (no en forma de óxidos), por calentamiento, condensa en el tubo y gotea a un recipiente lleno de agua. El agua previene una mayor evaporación. El mejor resultado se logra, dejando terminar la salida del tubo en una funda de plástico transparente, herméticamente sellada con una liga elástica y hundida en un recipiente de agua. De esta forma el sistema “crisol-refrigerador-funda” queda absolutamente cerrado, y se evita la más mínima fuga de mercurio. Las retortas se deben calentar siempre de tal manera que se aplique calor a todos sus lados, incluyendo el tubo de salida. De otra forma, algo del mercurio se podría condensar antes de alcanzar el condensador; en ese caso volvería a entrar al crisol y tendría que ser redestilado.

En cualquier caso, una vez que el calor ha sido retirado, se debe tener cuidado para asegurarse que el enfriamiento siguiente no atraiga el agua al crisol. Si



esto ocurriese, el crisol, todavía caliente, podría explotar debido a la evaporación instantánea del agua.

### **2.18. RETORTA.**

Una retorta es un dispositivo utilizado para la destilación, lo cual es un proceso de purificación mediante evaporación y condensación. Diferentes sustancias tienen diferentes puntos de ebullición (temperatura a la cual un líquido hierve). Encima de un líquido evapora rápidamente. Debajo del punto de ebullición un vapor condensa y la sustancia vuelve a su estado líquido.

Una retorta consiste en principio de un recipiente en el cual se calienta una mezcla de sustancias para elevar su temperatura y acelerar la evaporación, y un condensador para enfriar los vapores y llevar la sustancia previamente evaporada nuevamente a un estado líquido. En la salida del condensador, se tiene habitualmente un recipiente recolector para recuperar el líquido destilado.

La retorta es un equipo simple que sirve para refogar la amalgama de oro, esto es separar el oro del mercurio que conforma la amalgama, evitando que el estado de vapor contamine el medio ambiente y a las personas involucradas en el proceso.

#### **Como se usa las retortas:**

- ✓ Cuando se usa por primera vez la retorta, se debe curar el crisol, calentando al rojo vivo con soplete.
- ✓ Envolver la amalgama con papel y apartarlo contra el fondo del crisol.
- ✓ Cerrar herméticamente utilizando la cuña o tornillo de sujeción.

- ✓ Llenar la tina con agua, hasta la altura de entrada del tubo de destilación.
- ✓ Colocar un recipiente con agua a la salida del tubo de destilación, para recibir el mercurio condensado.
- ✓ Calentar con soplete la base del crisol hasta que se ponga al rojo vivo. A los pocos minutos comienza a caer las primeras gotas de mercurio al recipiente de agua.
- ✓ Manteniendo uniforme la temperatura se sigue quemando hasta que se observe que ya no cae mercurio, se da golpes suaves al tubo para que caigan las últimas gotas de mercurio.
- ✓ Cuando el crisol se ha enfriado, se abre la tapa, observando el oro que queda en el fondo. Si el oro presenta aspecto sucio se puede lavar con ácido nítrico diluido y luego con agua, además de darle un ligero quemado adicional en el digestor.

## **2.19 GEOQUÍMICA DE LOS SEDIMENTOS RESPECTO A METALES PESADOS.**

Existen estudios sobre los factores que afectan la capacidad de los sedimentos para captar y concentrar compuestos iónicos, principalmente metales y metaloides (As, Zn, Cu, Cd, Hg, Pb, entre otros). Las principales variables que determinan la concentración de metales son el potencial "redox", la granulometría, concentración de coloides (óxidos de Mn, Fe y Al) la concentración de carbono orgánico y sulfuros (Besser et al., 2004).

La granulometría del material (tamaño de grano), es un factor importante en la capacidad de retención de los metales. Existe una fuerte correlación positiva

entre la disminución del tamaño de grano y la concentración de metales. Esta correlación se debe tanto a factores físicos como mineralógicos (composicionales). Las partículas de arcillas ( $< 2-4 \mu\text{m}$ ) poseen una elevada área específica, determinando reacciones de superficie que favorecen las interacciones de metales con el sedimento.

Como consecuencia los sedimentos de grano fino son importantes sumideros de algunos constituyentes inorgánicos (Horowitz, 1986).

## **2.20. CONTAMINACIÓN EN CUERPOS DE AGUA.**

El medio ambiente acuático abarca una amplia variedad de parámetros y prácticamente todos ellos influyen sobre el mantenimiento de la homeostasis, siendo esenciales para el crecimiento y la reproducción de los peces. Si estos factores se alteran más allá de los límites aceptables pueden predisponer e incluso causarles alguna enfermedad.

En las últimas décadas el medio ambiente acuático se ha visto amenazado por descargas provenientes de la agricultura, desechos industriales y de origen urbano (Marquez, 1998).

Los contaminantes de los cuerpos de agua que afectan directamente a los peces son: temperatura, pH, presión de oxígeno, alcalinidad y dureza del agua; contaminantes absorbentes o reflectantes, como barro, restos carbonosos, desechos de papel y metales pesados.

Estos últimos son los responsables más frecuentes de las intoxicaciones minerales entre ellos se encuentra el cobre, plomo, mercurio, zinc, cromo,

cadmio, hierro y magnesio, los cuales se introducen en los sistemas acuáticos por desagües, residuos de las industrias.

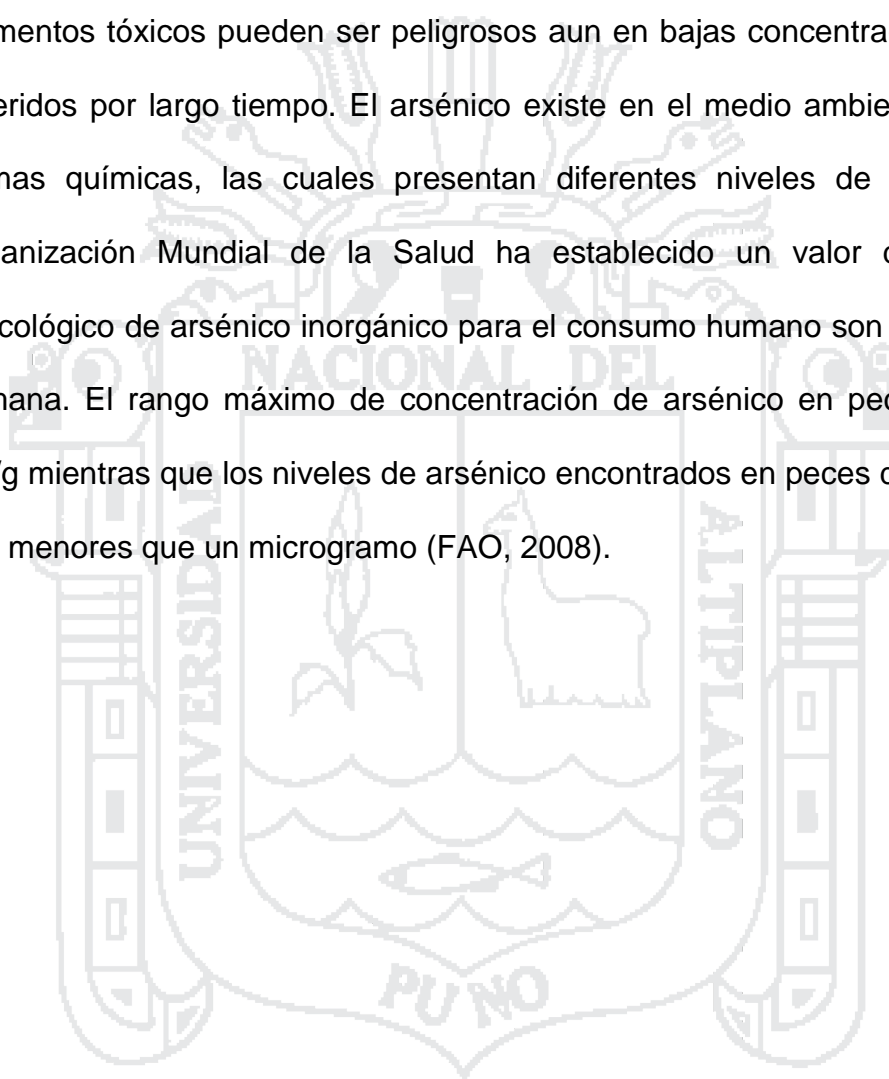
La importancia de estudiar los niveles de contaminación por metales pesados y metaloides en los ambientes acuáticos radica en que nos son desagradables, son biocumulables y pueden ser fácilmente a la cadena trófica (Wright, 2003).

### **2.21. METALES PESADOS Y ARSÉNICO EN ECOSISTEMAS ACUÁTICOS.**

Muchos de los metales que tienen una densidad alta no son especialmente tóxicos y muchos son esenciales en el ser humano, independientemente de que a determinadas concentraciones pueden ser tóxicos. Sin embargo, hay una serie de elementos que en alguna de sus formas pueden representar un serio problema medioambiental y es común referirse a ellos con el término genérico de metales pesados. Debido a su toxicidad, larga persistencia, sus propiedades de bioacumulación y no biodegradabilidad en la cadena alimenticia, los metales pesados constituyen un grupo importante de contaminantes acuáticos ya que puede ocasionar cambios genéticos, fisiológicos, bioquímicos y de comportamiento (Marquez, 1998).

Recientemente los niveles de metales pesados en los sistemas acuáticos se han incrementado por actividades mineras, industriales y agricultura, por lo que es importante que su presencia en el medio acuático para verificar la calidad del agua, salud animal y proteger la salud humana ya que los peces son importante fuente de alimentación. Los metales pesados se introducen en el ecosistema acuático tales como ríos, presas, lagos y mares por un gran número de formas. Metales como el hierro, cobre, zinc y magnesio son metales

esenciales ya que debido a ellos tienen un importante papel en los sistemas biológicos. Por otro lado el mercurio, plomo y cadmio no son metales esenciales y son muy tóxicos. Clasifican a los metales pesados como potencialmente tóxicos (aluminio, arsénico, cadmio, plomo, y mercurio). Los elementos tóxicos pueden ser peligrosos aun en bajas concentraciones, al ser ingeridos por largo tiempo. El arsénico existe en el medio ambiente en varias formas químicas, las cuales presentan diferentes niveles de toxicidad. La Organización Mundial de la Salud ha establecido un valor de referencia toxicológico de arsénico inorgánico para el consumo humano son 15 mg/kg por semana. El rango máximo de concentración de arsénico en peces es de 10 mg/g mientras que los niveles de arsénico encontrados en peces de agua dulce son menores que un microgramo (FAO, 2008).





### CAPITULO III

#### METODOLOGIA.

##### 3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO.

La presente investigación se circunscribe a realizar la evaluación de la calidad del contenido de mercurio en agua y sedimentos del río suches-zona bajo paria cojata – Puno.

A partir de la caracterización físico-química de muestras de aguas superficiales, la caracterización de metales pesados en agua y sedimentos. Así mismo un análisis en la que presenta la mayor carga contaminante.

Foto 02: Zona de estudio



### 3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.

El clima local de la zona de estudio es frío y seco. En las épocas de mayor frío (Junio a Agosto), hay fuerte incidencia de las heladas, en este tiempo las temperaturas mínimas pueden registrarse a  $15^{\circ}$  C bajo cero. Las granizadas son más frecuentes en las primeras lluvias de cada año, y coinciden con los meses de Septiembre y Octubre, en condiciones normales puede presentarse en pleno verano. La temperatura varía de  $4.5^{\circ}$  C a  $5.0^{\circ}$  C en los meses de Junio a Agosto, y de  $9.0^{\circ}$  C a  $9.3^{\circ}$  C en los meses de Noviembre a Marzo. Los valores promedios más altos de humedad relativa en el altiplano se registran durante los meses de verano, de Enero, Febrero y Marzo (mayores al 70%) los valores más bajos se dan durante los meses de invierno de Junio, Julio y Agosto (menores al 50%) y La precipitación pluvial anual varía entre 550 mm y

606 mm, concentrándose en un 75%, entre los meses de Diciembre a Marzo (SENAMHI, 2010).

### **3.3. METODOLOGÍA.**

Los principales parámetros fisicoquímicos son indicadores de contaminación y el contenido total de Hg en la columna de agua y sedimentos determinan la calidad de agua, para lo cual se seleccionaron tres sitios de muestreo representativos uno al inicio de la comunidad de Paria, a la altura del centro de la comunidad de Paria y otro al final de la comunidad de Paria. Área de la zona de estudio en aproximadamente 15 km.

La investigación es de tipo cuantitativa, primeramente se caracterizó los parámetros físico químicos del agua del río, luego se realizó la caracterización del metal pesado. Los datos obtenidos fueron en laboratorio acreditado de la ciudad de Bolivia LCA.

### **3.4 PROCEDIMIENTO METODOLOGICO.**

#### **3.4.1. MUESTREO PARA METALES PESADOS.**

La caracterización de mercurio total se efectuó en 3 puntos:

Punto N° 1: Inicio de la Comunidad

Punto N° 2: al nivel centro de la comunidad

Punto N° 3: Al final de la comunidad de Paria



Foto 03: Rio Suches



Foto 04: Punto N° 1: Inicio de la Comunidad



Foto 05: Punto N° 2: al nivel centro de la comunidad



Foto 06: Punto N° 3: Al final de la comunidad de Paria



Se recolectaron 3 muestras de agua y se analizó un metal por muestra de agua (Hg), 3 muestras de sedimentos de las cuales se analizó un metal por muestra (Hg). Los análisis se realizaron en el laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz Bolivia mediante métodos estándar.

Los muestreos se realizaron de manera aleatoria, con dos repeticiones. Estas muestras se tomaron al azar, disponiéndolas en envases de plástico previamente lavados in situ tres veces y rotulados adecuadamente. Para transportar las muestras al laboratorio se empacaron en bolsas de polietileno pesado protegidas con hielo triturado en un conservador de “plataforma” manteniéndose aproximadamente a 4° C. Al llegar las muestras al laboratorio se conservaron a la misma temperatura en un refrigerador hasta ser procesadas. Los análisis se realizaron en el laboratorio acreditado de calidad ambiental (LCA) - la Paz Bolivia.

## - PROCEDIMIENTO ANALÍTICO.

Los análisis se realizaron según la metodología del laboratorio de química analítico de LCA, para la determinación de metales pesados en aguas y sedimentos. El análisis en laboratorio se realizó con métodos estándares para cada elemento metálico como son:

Hg = Fluorescencia Atómica/EPA 245.2

Su objetivo principal es para la preparación de muestras para el análisis por Atómica Absorción (AA), acoplado inductivamente espectroscopía de emisión de plasma (ICP), gas o cromatografía líquida.

### 3.4.2. DIGESTIÓN DE MUESTRAS Y LECTURA EN EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

#### - LECTURA DE MUESTRAS.

El Protocolo de preparación de las muestras para su lectura en el espectrofotómetro, se realizaron con el Standard Method for the Examination of Water. Se cumplió con los parámetros de dilución de muestras, acidificación, filtración y digestión de la misma. De igual forma se dió especial cuidado a los porcentajes de elementos químicos adicionados como el ácido Nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), y el lavado adecuado de los instrumentos. Todo esto con el propósito de no incurrir en lecturas erróneas por mal procedimiento o contaminación de muestras. Así mismo, las lecturas de concentración de los metales pesados se realizaron en el espectrofotómetro de la Universidad Mayor de San Andrés de la Paz con colaboración del personal del laboratorio de LCA.

### 3.5. REACTIVOS.

- $\text{HNO}_3$
- Hidróxido de sodio
- Agua destilada





## CAPITULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.

#### 4.1 GEOGRAFIA.

Cojata se encuentra ubicado en las coordenadas  $15^{\circ}5'59''S$   $69^{\circ}31'34''O$ . Según el INEI, Cojata tiene una superficie total de 881,18 km<sup>2</sup>. Este distrito se encuentra situado al este de la Provincia de Huancané, en la zona norte del departamento de Puno y en la parte sur del territorio peruano. Su capital **Cojata** se halla a una altura de 4364 msnm.

Noroeste: distrito de Quilcapuncu	Norte: distrito de Ananea	Noreste: Bolivia
Oeste: distrito de Inchupalla		Este: Bolivia
Suroeste distrito de Vilque Chicoy distrito de Rosaspata	Sur: distrito de Huayrapata	Sureste: Bolivia

Figura Nº 3 Coordenadas del Distrito de Cojata.



Figura Nº 4 Mapa de coordenadas de Cojata

**Foto 07: Plaza de Cojata**

## **4.2. MEDIO GEOGRAFICO.**

### **4.2.1. UBICACIÓN.**

Cojata, uno de los distritos más antiguos de la provincia de Huancané, se encuentra ubicado en 15° O' 50" de latitud sur, 69° 21'45" de longitud oeste del meridiano Greenwich, situada en una altura de 4,320 m.s.n.m., al frente se dibuja la cordillera del os andes con su majestuoso río suches, el mismo que sirve de límite entre Perú y la hermana república de Bolivia. Posee una superficie de 881,18km<sup>2</sup>, lo cual representa el 18.65% de la provincia y el 1.22% de la región, además cuenta con el 5.6% de la densidad poblacional por km<sup>2</sup>. (Fuente: INEI-2005).

Cojata como distrito pertenece a la provincia de Huancané y departamento y/o región de Puno, que por estar situado en la frontera posee la gran importancia socio-económica en la región de Puno, caracterizándose principalmente por su

producción ganadera en su biodiversidad de animales, que son el sostén de la familia rural y urbana, acompañado con el comercio internacional mediante los KKATUS. Además cuenta con una serie de vestigios o reliquia cultural de las civilizaciones pres incaicos o tribus inmigrantes de Bolivia y Perú.

#### **4.2.2. LÍMITES.**

Cojata limita con los siguientes distritos y provincias:

- Por el norte, con el distrito de Ananea y Quilcapunku.
- Por el Sur, con la provincia de Mohó y Distrito de Rosaspata.
- Por el Oeste, con el distrito de Inchupalla y distrito de Vilquechico.
- Por el Este, con la Hermana República de Bolivia.

#### **4.2.3. CLIMA.**

Presenta un clima moderado, templado y frígido, tal como demuestra su ubicación al pie de la cordillera de los andes, también por ello la producción agrícola no es rentable, pero sí explica la producción exitosa de la ganadería como los auquénidos, vacunos, ovinos, etc.

La temperatura según SINAMHI, registra una máxima de 6 a 10°C, en los meses de Mayo, Abril y Junio llega hasta menos de 0°C, debido a las insoportables heladas. En la idiosincrasia del poblador andino, no existe las cuatro estaciones sino dos épocas o periodos, llamados como Xallupacha Timpunaka y Lapaka Timpunaka, es decir tiempo de Lluvias (Noviembre,



Diciembre, Enero, Febrero, Marzo), mientras las épocas de sequía o ausencia de lluvias (Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre).

#### 4.2.4 LA OROGRAFÍA.

El sistema orográfico Cojateño, presenta un suelo bastante planicie y escasa existencia de llanuras, salvo en la parte norte, llámese las comunidades de Kaylloma, Quenajani, Aurora, Villa Pampa, Mallcunuta, por la presencia suelos húmedos y ojos de agua en cada lugar pantanoso que se mantiene igual en todo el año.

Las grandes lomas paltizales tienen su origen desde la cadena sur de la cordillera de los andes peruano. Tal así Cojata, posee dos ramales, la primera por el sur que parte desde Sorapata, San Jorge, Tumapirhua, Umabamba, Huancasaya, Meccani, Chillihuani, llegando hasta Tarucani. Mientras la segunda es por el norte, que parte desde Vanacu Yapu, Qaqueña, Condoriquiña, Chajana, Kaylloma, Japu, Quenajani, Kellutacuni, entre otros.

Estos dos corredores ramales forman columnas gigantes que ubican a Cojata en el medio de un paisaje majestuoso, frente al nevado Illimani de Bolivia que mide aproximadamente 5.888msnm.

Las lomas o corredores pastizales, sirven de importante fuente para el poblador Cojateño, es decir ellos aprovechan los Ichus y chillihuas que crecen en las zonas alto andinas para el techo de sus casas y para la alimentación de sus ganados.

A continuación indicaremos algunos lugares o sitios que son considerados como cerros tutelares o cerros que toman el nombre por su forma de ubicación o por su situación geomorfológico.

#### Nombre de Cerros

Ubicación.

-Villa Karka.

- Kiata.

- Ch'appiukku

- Surpu Luma.

- Huancarani.

- Tumapirhua karka.

- Pukara karka.

- Kala Nasa.

-Mallcunuta Karka.

- Pak'uyu Luma.

- Kalakumo karka.

- K'ak'iña Luma.

-Comunidad de Umabamba.

- Comunidad de Huancasaya.
  
- Comunidad de Chajana.
  
- Comunidad de los Andes.
  
- Comunidad de Tumapirhua.
  
- Parcialidad de Condoriquiña.
  
- Comunidad de Quenajani.
  
- Parcialidad de Mallcunuta.
  
- Comunidad de Tumapirhua.
  
- Parcialidad de Kalakumo.
  
- Parcialidad de Khakiña.

#### **4.2.5 HIDROGRAFÍA.**

Cojata tiene como principal fuente hídrica al río Suches.

La hidrografía de Cojata se caracteriza por tener pequeños y efímeros riachuelos o lagunillas que depende de las lluvias, también en algunos lugares vale destacar la presencia de ojos de agua o manantiales provenientes desde el subsuelo, que abastecen de agua durante los meses de Mayo a Octubre, caso la parcialidad de Mallcunuta, Comunidad de Quenajani, Comunidad de Tumapirhua, entre otros. Pero sin embargo la única fuente de vida de mayor

importancia es el río Suches, de régimen irregular, vale decir que en épocas de lluvias su caudal aumenta y en las épocas secas disminuye enormemente.

El río suches nace de laguna del mismo nombre y durante su recorrido en la dirección de norte a sur, abre su paso a diferentes comunidades campesinas y/o parcialidades, incluso se considera como una frontera natural entre Perú y Bolivia, finalmente este río desemboca a lago Titicaca.

#### **4.2.6 DEMOGRAFÍA.**

Según el Censo peruano de 2007, había 4354 personas residiendo en Vilavila. La densidad de población era 4,9 hab./km<sup>2</sup>

- **ASPECTO ECONÓMICO.**

A nivel de Provincia, la actividad económica predominante de la población económicamente activa es la extractiva (agricultura, ganadería, caza, pesca, silvicultura y minería), con el 76.1%, seguido por servicios (hoteles, restaurants, transportes) con el 10.6%, y tan sólo el 4.1% se dedica a la transformación. Este último porcentaje está indicando que la actividad industrial o la que da valor agregado a la producción es incipiente en la provincia, en consecuencia aún falta impulsar la agroindustria y la conformación de pequeñas y medianas empresas, sólo así habrá posibilidad de aprovechar las oportunidades por ejemplo que brindaría la firma del Tratado de Libre Comercio con los Estados Unidos y la Unión Europea.

Bajo nivel de ingreso, con un ingreso familiar per cápita de 152.6 N.S. mensuales (Fuente PNUD. 2007). dicha situación se manifiesta debido a la baja productividad agropecuaria, y el bajo desarrollo de las actividades de comercio y otros.

La desnutrición crónica alcanza el 42.7% (Fuente: OMS, 2007); problema que tiene mayor incidencia en los distritos considerados como de extrema pobreza alcanzando un alto índice en el distrito de Cojata donde se alcanza hasta un 50%.

Deficiente acceso e integración vial de los distritos con la capital de provincia. Actualmente la situación de las vías de comunicación se encuentra en su mayoría en mal estado, dificultado el tránsito y acceso de los pobladores a los diferentes destinos provinciales y regionales incrementando los costos de transportes y traslado. Así mismo es limitado la cobertura de los servicios de telecomunicación generando aislamiento en ciertos distrito con lo cual se limita el desarrollo.

- **DISTRITO DE COJATA.**



**Figura N° 5 "Mapa del distrito de Cojata"**

Cojata es la capital del distrito Cojata

Ubicación de Cojata

Distrito :Cojata

Provincia :Huancane

Región : Puno

Ubigeo : 210602

Latitud Sur : 15° 0' 54.5" S (-15.01512966000)

Longitud Oeste : 69° 21' 54.4" W (-69.36512101000)

Altitud : 4381 msnm

#### 4.3 FLORA Y FAUNA.

Son los recursos más hermosos y oriundos del lugar, que mostraban una atracción y belleza en el paisaje altiplánico, tal así en Cojata existe hasta la actualidad una diversidad de especies de la flora y fauna silvestre. Incluso desde los tiempos pre-hispánicos era considerado como una de las potencias en cuanto a la riqueza silvestre, por eso los Chirihuanos de Bolivia migraban constantemente a las pampas de Cojata, en busca de los mamíferos y pintorescos aves que se concentrarían en las pampas de Killwa Wawacha (Hoy Billapampa), Mallcu-Uta (hoy Mallcunuta), Quenajani, Chajana, entre otros. La mayoría de estos animales se les consideraban como errantes y golondrinos, porque se trasladaban de un lugar a otro en grupos, manadas, ejemplo: las Pumas, Vicuñas, los Cóndores, los gatos silvestres, las bicolors Pariguanas, los hermosos Huallatas, entre otros. Pero en la actualidad casi la mayor parte de estos animales están desaparecidos de la zona, una de las causas fue la sequía que arrasó en las décadas de ochenta del siglo pasado y por otro lado también fue la caza permanente de los tribus antepasados que migraron desde las selvas de Bolivia, sobretodo se admiraban de los vistosos plumajes que tenían aquellas aves.



## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSION.

#### 5.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA.

El ser humano obtiene el agua para su consumo, producto de un proceso de tratamiento y de fuentes naturales; es frecuente que el agua contenga diversas sustancias de manera natural, tales como: sales y algunos minerales que no necesariamente resultan perjudiciales para la salud humana, en tanto no excedan los límites establecidos. Se considera agua apta para consumo humano, toda aquella que no dañe la salud de las personas, y puede provenir de fuentes naturales o haber sido tratada específicamente para uso humano.

En el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano, se especifican los parámetros microbiológicos, organolépticos y químicos, que debe cumplir el agua para ser considerada bebible por el ser humano.



En contenido de mercurio en agua y sedimentos del río Suches-zona bajo Paria Cojata – Puno se hizo el estudio, para lo cual se ha efectuado muestreo en tres zonas estratégicas (Inicio, Centro y el final de la Comunidad de Paria en la zona de Suches), el presente trabajo se ha realizado considerando, que el agua constituye un elemento natural indispensable para el desarrollo de la vida y de las actividades humanas; resulta difícil imaginar cualquier tipo de actividad en la que no se utilice, de una u otra forma.

El recurso agua para satisfacer distintas necesidades se transforma en un recurso indispensable para cualquier actividad que realiza el hombre. Sin embargo no todas las personas disponen de él. Esto sucede por varios motivos, entre los cuales se puede mencionar la desigual distribución natural del agua en la superficie terrestre. Esta imposibilidad lleva a situaciones de escasez, que no tiene causas exclusivamente naturales, sino que también sociales. Esto nos permite decir que existe una estrecha relación entre la posibilidad de abastecimiento y el desarrollo, porque cuanto mayor es el desarrollo, mayor es la capacidad para obtenerla y mayor es la contaminación.

La humanidad requiere el agua cada vez en mayores cantidades para realizar sus actividades. El mayor consumo de agua también se debe al incremento de las prácticas de la explotación minera, las irrigaciones agrícolas, el gran desarrollo industrial o a la existencia de hábitos de consumo que, en ocasiones, implican su derroche.

**Foto 09: Panorama del Área de estudio**


En el cuadro 01, se muestran los resultados de campo de características físicas, los mismos que han sido realizados por el tesista.

**CUADRO Nº 1 RESULTADOS Y DISCUSION - RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Características	Unidades	Inicio	Centro	Final
Ph		7.400	7.300	7.300
Salinidad	%	0.500	0.400	0.400
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	422.000	401.000	402.000

Fuente: Análisis de Campo - Tesista

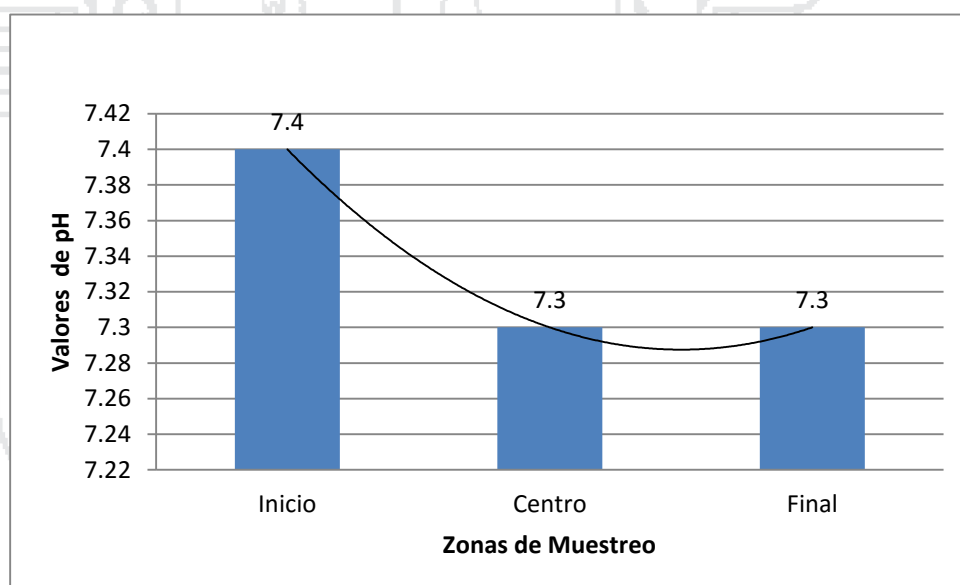
Desde el punto de vista de legislación ambiental y de acuerdo a los estándares nacionales de calidad Ambiental para agua, se interpreta y discute los resultados.

## 5.1.1. ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS

### 5.1.1.1. pH

Los ríos en nuestra región de Puno, son de gran importancia socioeconómica y son la fuente principal de agua de las poblaciones de la región andina. Particularmente los ríos afluyentes del lago Titicaca son utilizados para el abastecimiento de pequeños poblados y para el sostenimiento de extensas zonas de pasturas naturales y ganaderas. Estudiar la dinámica de las condiciones físicas y químicas en sistemas muy variables como los ríos de la sierra, requiere el desarrollo de varias aproximaciones debido a que la química del agua varía espacial y temporalmente.

#### CUADRO Nº 2 RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA PARA EL pH - 2015



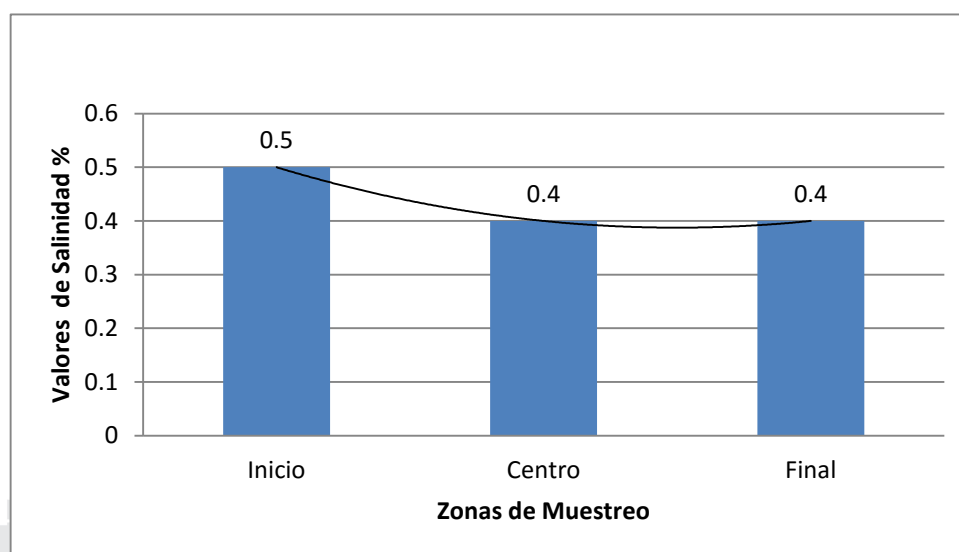
Fuente: Resultado de análisis Campo

La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH. De acuerdo a la norma vigente el pH es de 6.5 – 8.5 y en nuestros resultados se han obtenido pH de

7.4, 7.3, y 7.3 para los puntos de monitoreo considerado en el presente estudio, respectivamente y en comparación con los estándares de calidad ambiental de agua se encuentran dentro del rango permitido desde el punto de vista riego de vegetales y bebidas de animales. Las fuentes de agua dulce con un pH inferior a 5,0 o mayor a 9,5 no soportan vida vegetal ni especies animales, por tal razón es muy importante la determinación de este parámetro en la calidad de agua. El desarrollo de los ecosistemas en el globo terráqueo prospera muy bien en un pH próximo a pH 7. Tanto un pH alto, como un bajo pueden ser perjudiciales, ocasionando la muerte de los peces y la esterilidad general en corrientes naturales e inactivando los microorganismos esenciales en los procesos. Los peces y otros organismos dependen de la alta calidad del agua con la cantidad justa de oxígeno disuelto y sus nutrientes. Un alto o bajo pH puede romper el balance de los químicos del agua y movilizar a los contaminantes, causando condiciones tóxicas

#### **5.1.1.2. SALINIDAD**

El agua contiene dos tipos de sólidos: los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos consisten de partículas de material orgánico e inorgánico y son los que causan la turbidez. Los sólidos disueltos son aquellos que se encuentran completamente disueltos y no se pueden percibir con la vista. Estos sólidos disueltos provienen de la acción disolvente del agua al estar en contacto con los minerales del acuífero o del suelo. Los sólidos disueltos aparecen solo cuando el agua es evaporada. El residuo que queda al evaporar el agua consiste de sales como: carbonatos, cloruros o sulfatos de: calcio, sodio, potasio, magnesio, etc.

**CUADRO Nº 3 RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA PARA SALINIDAD -  
2015**

Fuente: Resultado de análisis de Campo

Todas las aguas naturales contienen sólidos disueltos en mayor o menor proporción. A esta propiedad también se le llama salinidad del agua. Las sales disueltas se presentan como cationes y aniones y al ser partículas cargadas eléctricamente conducen la electricidad. Por esta característica, los sólidos disueltos o sea la salinidad puede medirse indirectamente con un conductímetro. Si en un centro poblado se tiene agua de alta salinidad de 690 ppm de TDS, el agua se puede consumir como agua potable, pero es deseable disminuir la salinidad a valores menores. La alta salinidad está ligada a altas concentraciones de cloruros, sulfatos así como excesiva dureza por la presencia de calcio y magnesio en altas concentraciones. También a mayor salinidad, mayor es la probabilidad de presencia de contaminantes como el flúor, arsénico, metales pesados. Aun y cuando no se tengan problemas de contaminantes en el agua, valores muy altos de salinidad causan problemas a nivel de uso industrial o para el consumidor doméstico de agua potable, ya que

los alimentos preparados con agua de alta salinidad son difíciles de cocer, especialmente las leguminosas como frijoles, habas, lentejas, etc.

También en personas no acostumbradas a beber agua de alta salinidad, su consumo puede causar trastornos estomacales que a veces se confunden con infecciones, malestares que desaparecen una vez que el organismo balancea la ingesta y excreción de sales. La presencia de altas concentraciones de sólidos disueltos en agua que se emplea en riego agrícola, puede causar daños en las plantas y en el mismo suelo, por lo que también es necesario restringir su uso en estas actividades cuando esto ocurre.

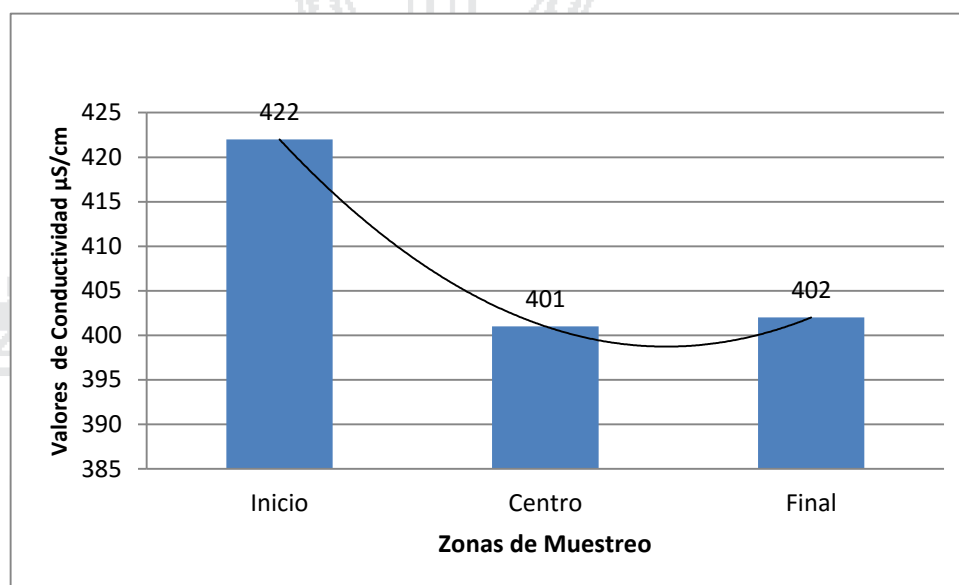
La salinidad que presenta es de 0.5%, 0.4% y 0.4% en los puntos de Inicio, Centro y Final de la comunidad de Paria encontrándose dentro de los estándares nacionales e internacionales.

#### **5.1.1.3. CONDUCTIVIDAD.**

El estándar de calidad ambiental para el riego de cultivos considera una conductividad límite de 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y para bebida de animales considera 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , el cual comparando con los resultados del análisis muestra que no se supera este valor en el Inicio 422  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en el Centro 401  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y en la zona de la final de la comunidad 402  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , por tanto no existe problemas de conductividad para riego y bebida de animales. La conductividad es una medida de la capacidad de una solución para conducir una corriente eléctrica y varía con el tipo y cantidad de los iones que la solución contiene y los diversos sólidos disueltos. Los valores obtenidos se pueden definir como normales debido a que niveles superiores de los estándares nacionales, podrían

provocar efectos adversos para la vida vegetal y acuática (Stocker y Seager, 1981).

**CUADRO Nº 4 RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA PARA  
CONDUCTIVIDAD - 2015**



Fuente: Resultado de análisis Laboratorio UNA - Puno

## 5.2. CONTENIDO DE METALES PESADOS EN AGUAS DEL RIO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Los metales llegan a los cursos de agua a través de múltiples vías. Mientras que una fracción se retiene en suelos y sedimentos, otra circula libremente por el agua de ríos, embalses y lagunas.

Muchos metales son tóxicos para la biota cuando su concentración supera las bajísimas concentraciones que son necesarias como micronutrientes. Sin embargo la capacidad de respuesta y adaptación de los sistemas naturales se

vio ampliamente excedida por el tamaño de la agresión, quedando efectos duraderos sobre los elementos vivos del sistema.

En una frecuencia de eventos mucho mayor, pero a concentraciones que no pueden calificarse de catastróficas, la llegada de tóxicos a los sistemas acuáticos puede producir efectos notables sobre la composición de la biota y la organización del ecosistema.

### 5.2.1. ANÁLISIS DE METALES PESADOS EN AGUA - INICIO

El siguiente cuadro muestra los resultados de análisis de agua para determinar las concentraciones de metales pesados en el primer punto de muestreo o sitio de monitoreo; siendo considerado el Inicio de la comunidad.

**CUADRO N° 5 RESULTADO DE ANÁLISIS DE METALES PESADOS -  
Inicio**

Parámetro	Método	Unid.	Límite det.	Inicio	Centro	Final
Mercurio	EPA 245.1	mg/l	0.00020	< 0.00020	< 0.00020	<0.00020

Fuente: Laboratorio de calidad ambiental – Bolivia 2015

El correspondiente límite del estándar de calidad ambiental de Mercurio en riego de vegetales es 0.001 mg/L y para bebida de animales es igual, el resultado obtenido en laboratorio está por debajo del límite de detección de 0.00020 mg/L, entonces no se presenta problemas con este metal pesado en la Zona de estudio.



➤ **Mercurio**

El mercurio es un metal pesado, y como todos ellos, es tóxico o venenoso a muy bajas concentraciones, y no puede ser degradado o destruido. De hecho, es uno de los tóxicos más peligrosos que se conoce: la cantidad de mercurio contenida en un termómetro casero es suficiente para superar los niveles permisibles de mercurio en aire dentro de una casa. El mercurio no ocurre naturalmente en los organismos vivos, ni tiene ninguna función fisiológica en ellos, a diferencia de otros metales. Por tratarse de un elemento, no se puede descomponer ni degradar en sustancias inofensivas; el mercurio puede cambiar de estado y especie, pero no desaparece como metal: una vez liberado a partir de los depósitos naturales (usualmente minerales de la corteza terrestre) y emitido a la biosfera, el mercurio puede tener una gran movilidad y circular entre la superficie terrestre y la atmósfera, y entrar a la cadena trófica de los organismos vivos.

Hay varias formas por las que la gente puede ser intoxicada por mercurio: una es respirando aire contaminado con los vapores o ingiriéndolo directamente a través de agua u alimentos contaminados. Los síntomas incluyen alteraciones en el comportamiento y daños severos en el sistema nervioso, daños en los aparatos digestivo y urinario y en el sistema reproductivo, incluyendo graves malformaciones congénitas, por lo que los expertos aconsejan a las personas expuestas al mercurio evitar los embarazos (las autoridades brasileñas recomiendan esto a las mujeres que viven en zonas de extracción aurífera donde ocurren altos niveles de contaminación con mercurio)

**CUADRO Nº 6 ANALISIS DE VARIANZA COMPARATIVO DE TRES ZONAS  
DE MUESTREO DE MERCURIO**

<b>F de V</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Zona</b>	2	$7.2 \times 10^{-7}$	$3.6 \times 10^{-7}$	1.00	0.4219
<b>Error</b>	6	$2.16 \times 10^{-6}$	$3.6 \times 10^{-7}$		
<b>Total</b>	8	$2.88 \times 10^{-6}$			

$$R^2 = 25 \% \quad CV = 150\% \quad \bar{X} = 0.0004$$

De acuerdo al cuadro del análisis de varianza considerando zonas de muestreo como tratamiento, determinada la prueba de  $F_c = 1.00$  y cuya probabilidad es de 0.4219, la cual indica que entre zonas de muestreo no existe diferencia estadística, porque la probabilidad es superior a  $\alpha = 0.05$ , por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, es decir no hay variación en cuanto se refiere al mercurio en agua entre las zonas de monitoreo al inicio, Centro y al final de la comunidad de Paria.

### **5.3. CONTENIDO DE METALES PESADOS EN LOS SEDIMENTOS FLUVIALES**

Con el incremento de la población y el surgimiento de la actividad industrial la polución de ríos, lagos y aguas subterráneas aumenta constantemente. La Organización Mundial de la Salud define a la polución de las aguas dulces de la siguiente manera: "Debe considerarse que un agua está polucionada, cuando su composición o su estado están alterados de tal modo que ya no reúnen las condiciones a una u otra o al conjunto de utilidades a las que se hubiera destinado en su estado natural".

**CUADRO Nº 7 CONTENIDO DE METALES PESADOS Y SU ACUMULACIÓN  
EN LOS SEDIMENTOS FLUVIALES EN EL INICIO DE LA COMUNIDAD**

Parámetro	Método	Unid.	L. Deter.	Inicio
Hg	Fluorescencia Atomica/EPA 245.2	mg/kg	0.10	0.10

Fuente: Laboratorio de calidad ambiental – Bolivia 2015

**CUADRO Nº 8 CONTENIDO DE METALES PESADOS Y SU  
ACUMULACIÓN EN LOS SEDIMENTOS ALTURA DEL CENTRO DE LA  
COMUNIDAD**

Parámetro	Método	Unid.	L. Deter.	Centro
Hg	Fluorescencia Atomica/EPA 245.2	mg/k g	0.10	0.11

Fuente: Laboratorio de calidad ambiental – Bolivia 2015

**CUADRO Nº 9 CONTENIDO DE METALES PESADOS Y SU  
ACUMULACIÓN EN LOS SEDIMENTOS A LA ALTURA CONSIDERADA  
FINAL DE LA COMUNIDAD**

Parámetro	Método	Unid.	L. Deter.	Final
Hg	Fluorescencia Atómica/EPA 245.2	mg/kg	0.10	0.37

Fuente: Laboratorio de calidad ambiental – Bolivia 2015

### 5.3.1. ANÁLISIS DE MERCURIO

Referente al mercurio, En base a los valores de detección y estándares de intervención (10mg/Kg), Los valores indican que existe presencia de Hg a medida que avanza aguas abajo del río. Es necesario indicar que el mercurio se incrementa considerablemente al pasar la zona de la comunidad de Paria. Existe presencia de elevadas concentraciones pero si considerar como un elemento que puede presentarse en la zona de estudio por efectos antrópicos.

**CUADRO N° 10 ANALISIS DE VARIANZA COMPARATIVO DE TRES  
ZONAS DE MUESTREO DE MERCURIO EN SEDIMENTOS**

F de V	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
<b>Zona</b>	2	5.07000000	2.53500000	9.00	0.0540
<b>Error</b>	3	0.84500000	0.28166667		
<b>Total</b>	5	5.91500000			

$$R^2 = 85.71 \% \quad CV = 62.44\% \quad \bar{X} = 0.850000$$

De acuerdo al cuadro anterior del análisis de varianza considerando zonas de muestreo como tratamiento, determinada la prueba de  $F_c = 9$  y cuya probabilidad es de 0.0540, la cual indica que entre zonas de muestreo no existe diferencia estadística, porque la probabilidad es superior a  $\alpha = 0.05$ , por lo tanto se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna, es decir no hay variación en cuanto se refiere al mercurio en sedimentos entre las localidades de Inicio, Centro y Final de la Comunidad de Paria. Esta prueba nos indica que el mercurio se transforma en metil mercurio y puede introducirse en la cadena alimenticia reduciendo su concentración en los sedimentos.

## DISCUSIÓN

La actividad minera realizada en la cuenca Suhez, genera efluentes tóxicos que contaminan las aguas superficiales; es así que estudios realizados en la cuenca indican que se muestrearon y analizaron aguas y sedimentos superficiales en las cercanías a las comunidad de Paria.

Estudios realizados por las Universidades del Altiplano y Montana Tech (Gerbrandt, et al., 2004), con muestreo de aguas en el río Crucero, mencionan niveles de mercurio en la cabecera de la cuenca, principalmente, después de su confluencia con el río Cecilia.

En base a los estudios anteriores se demuestra que la contaminación por la minería informal se presenta en la cabecera de la cuenca.

El presente estudio se limita en un tramo desde el inicio, centro y final de la zona de estudio por la comunidad de Paria. En el que los resultados obtenidos determinan que la contaminación de Hg en agua se encuentra por debajo de los estándares de calidad ambiental según el D.S. 002-2008 MINAM categoría III. La concentración de Hg se encuentra por debajo de los límites permisibles. Referente al Mercurio en sedimentos se encuentran dentro de los estándares de calidad. Es necesario tener un especial cuidado y realizar estudios con muestreos periódicos para conocer la concentración de estos elementos tóxicos por la importancia que tiene la contaminación minera y los posibles conflictos sociales.

## PROPUESTA

La contaminación de aguas, suelos y de la cobertura vegetal, por metales pesados, es uno de los problemas ecológicos más severos a escala mundial y en forma particular en el Altiplano del Sur Peruano. La subsecuente contaminación de la cadena alimenticia es una de las vías más importantes en la exposición a metales pesados.

La pérdida de calidad de los recursos de agua en la cuenca Suchez debido a la minería informal en la cabecera de cuenca, es una realidad y preocupación que se incrementa hoy en día. El presente trabajo de investigación identifica la calidad de agua en base a parámetros fisicoquímicos y el grado de contaminación por mercurio en agua y sedimentos d, El estudio nos demuestra que la concentración de Hg en agua están por debajo de los estándares de calidad ambiental categoría III; en sedimentos también se encuentran por debajo de los estándares de calidad ambiental.

Por lo cual, proponemos a las autoridades locales y regionales realizar estudios similares en épocas diferentes del año, una mayor cantidad de mediciones de campo permitirán realizar predicciones confiables, más exhaustivas y representar otros escenarios ambientales posibles, como así también evaluar la magnitud del impacto de la fuente en espacio y tiempo. Lo que permitirá conocer el grado de contaminación en agua y sedimentos de la cuenca suchez.

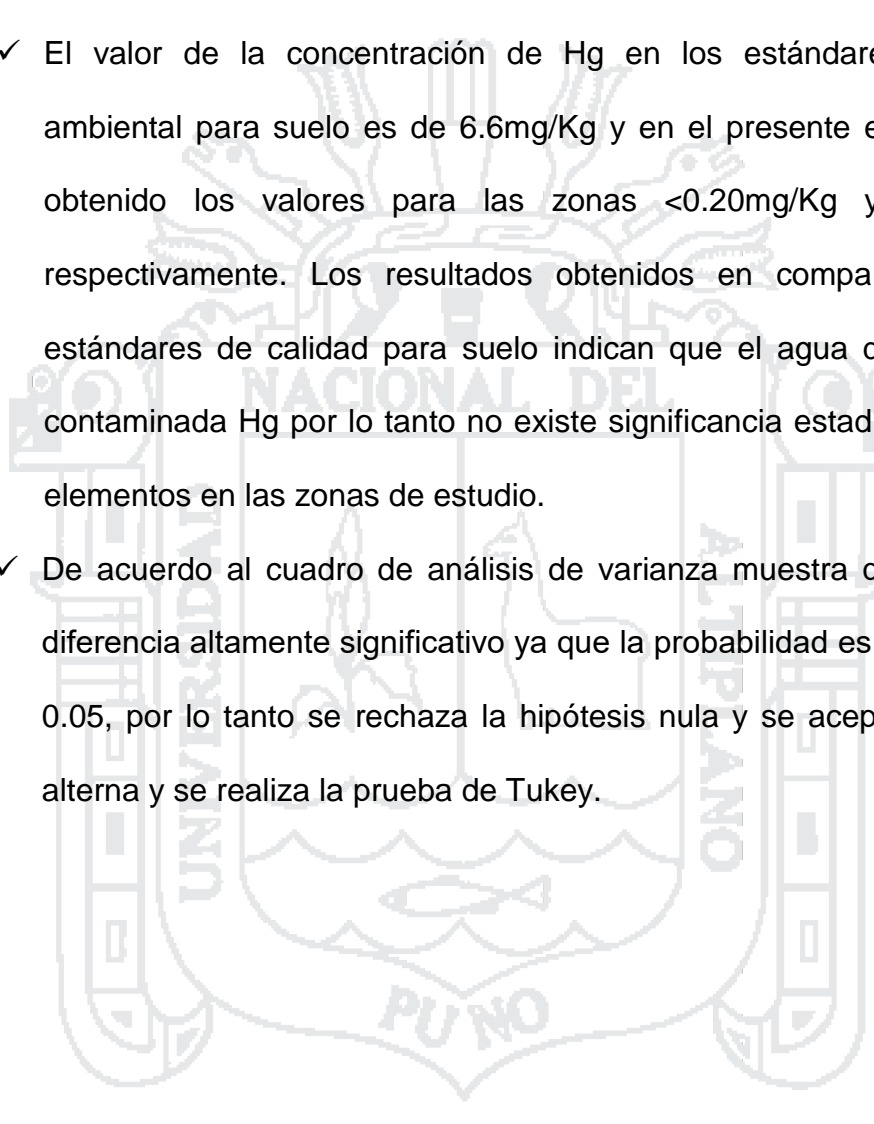
## CONCLUSIONES

Realizado el análisis físico químico del agua del río en la zona de Cojata comunidad de Paria para las tres zonas de monitoreo: Inicio, Centro y Final y cuyos resultados:

- ✓ Los valores de pH establecida como estándares nacionales de calidad ambiental para agua el rango es de 6.5 – 8.5 para riego de vegetales y consumo de animales; para el presente estudio se ha obtenido valores de pH 7.4, 7.3 y 7.3 respectivamente, estos valores en comparación con los estándares mencionados se encuentra dentro del rango normal, lo cual indica que el agua no está contaminada.
- ✓ La conductividad eléctrica del agua es la capacidad que tiene el agua para conducir la electricidad y el valor del estándar de calidad ambiental para agua es de  $<2000 \mu\text{S}/\text{cm}$  para riego de vegetales y consumo de animales; en el presente estudio se ha obtenido para las zonas de: Inicio  $422 \mu\text{S}/\text{cm}$ , Centro  $401 \mu\text{S}/\text{cm}$  y Final  $402 \mu\text{S}/\text{cm}$ ; estos valores comparados con los estándares se encuentran como normales para riego y consumo de animales indicando que el agua de las zonas de estudio no están alteradas para el parámetro de la conductividad eléctrica.
- ✓ Los análisis químicos de la caracterización del agua con respecto a Mercurio Hg  $<0.0002\text{mg}/\text{L}$  en la zona de monitoreo antes de la comunidad de Paria, y Hg  $0.0002\text{mg}/\text{L}$  y en la zona centro considerada a la altura de la comunidad. Así mismo pasando la comunidad de Paria considerado el punto de Monitoreo como Final se tiene Hg  $<0.0002\text{mg}/\text{L}$ .

Estos datos comparados con los valores de los estándares de calidad ambiental que nos indican Hg 0.001mg/L. Indicándonos que los valores en las tres zonas de estudio se encuentran dentro de los límites de los estándares de calidad de agua.

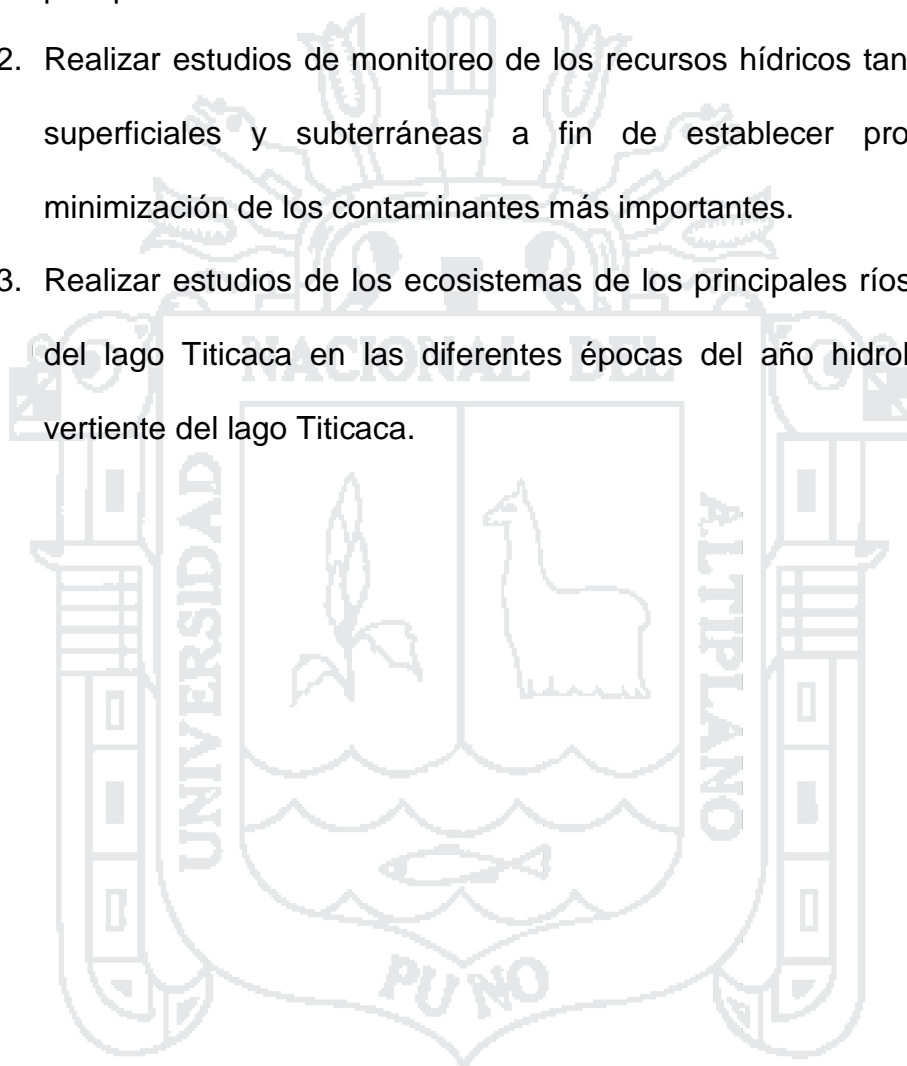
- ✓ El valor de la concentración de Hg en los estándares de calidad ambiental para suelo es de 6.6mg/Kg y en el presente estudio se han obtenido los valores para las zonas <0.20mg/Kg y <0.20mg/Kg respectivamente. Los resultados obtenidos en comparación de los estándares de calidad para suelo indican que el agua del río no está contaminada Hg por lo tanto no existe significancia estadística de estos elementos en las zonas de estudio.
- ✓ De acuerdo al cuadro de análisis de varianza muestra que existe una diferencia altamente significativo ya que la probabilidad es menor que  $\alpha=0.05$ , por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna y se realiza la prueba de Tukey.





## RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios similares en todos los ríos afluentes del lago Titicaca, en diferentes estaciones del año y haciendo correlación con las precipitaciones máximas de 24 horas.
2. Realizar estudios de monitoreo de los recursos hídricos tanto en aguas superficiales y subterráneas a fin de establecer programas de minimización de los contaminantes más importantes.
3. Realizar estudios de los ecosistemas de los principales ríos afluyentes del lago Titicaca en las diferentes épocas del año hidrológico de la vertiente del lago Titicaca.



**BIBLIOGRAFÍA**

- Alir, E. L. (1990). Estudio de los niveles de contaminación por metales pesados y otros parámetros de calidad en las aguas y sedimentos del río Henares. Tesis Doctoral, Ingeniería Civil y Medio Ambiente, Ordenación del Territorio Urbanismo y Medio Ambiente programa de doctorado.
- Alvarez, J. (2011). Informe Preparado por el instituto de la amazonia Peruana - IIAP y el Ministerio del Ambiente. Lima.
- ATSDR (2005) Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Polynuclear Aromatic Hydrocarbons. Washington DC: U.S. Public Health Service.
- Badilla, H. V. (2005). Evaluacion de las Fuentes de Agua Potable de la Ciudad de Grecia . Escuela de Ingenieria Civil, Taller de Diseño.
- Barbour, M. J. (1999). Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton Benthic Macroinvertebrates and Fish. Environmental Protection Agency, Office of water, Washington, D.C.
- Besser, J.M., Brumbaugh, W.G., Kemble, N.E., May, T.W. & Ingersoll, C.G. 2004. Effects of sediments characteristics on the toxicity of chromium (III) and chromium (VI) to the amphipod, *Hyalella azteca*. Environ. Sci. Technol., 38:621-6216.
- Bitar, J. C. (2008). Implementacion de un modelo de transporte de metales pesados en el Río Magdalena tramo Girardot - Honda.

- Bombardelli, F. M. (1994). Cuantificación del Impacto de los Vertidos en la Ría de Bahía Blanca, Informe LHA-INCYTH, vol.(I,2124).
- Boxall, J. B. (2003). Transverse mixing in sinuous natural open channel flows, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 41, No. 2 pp. 153–165.
- Castro, J. (2002). “Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente”. UNESCO – INGEMMET – Perú, San Luís de Potosí, México.
- Castro, R. (1982). Monografía de la cuenca del río Claro. Maule UC. Revista de la Universidad Católica de Chile sede del Maule N°8: 63-68.
- Cardini, J. G. (2002). Monitoreo y pronóstico de evolución de la pluma de turbiedad para las operaciones de zanjeado y tapada en el Río de La Plata. Serman & asociados s.a. para Gasoducto Cruz del Sur. Informe Final, Informe PFR - IF - 08/03/02.
- Cardini, J. y. (2000). Impactos Ambientales del Cruce del Río de la Plata. Anexo A . Estudios Hidrosedimentológicos de Dispersión de los Sedimentos Dragados. Gasoducto Buenos Aires – Montevideo - Cruz del Sur: Serman & asociados s.a. .
- Cardini, J. Z. (2004). Efecto de los coeficientes de dispersión sobre la modelación bidimensional del transporte de contaminantes. Caso de estudio, *Mecánica Computacional* , Cardini, J., Zabalett.
- Castillo, (2012) Cuantificación de iones cloruros, Montevideo, Uruguay.

Cauwet, G. (1978). Organic chemistry of sea water particulates concepts and developments. *Oceanol. Acta* 1. 99-105.

CONAMA, (2003) Comisión Nacional del Agua, Normas de calidad Ambiental y de emisión; Resolución Exenta N° 1083.

CONAMA (2004). Guía para el establecimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales y Marinas.

Chapra, S. C. (1997). Surface water quality modeling. University of Colorado at Boulder. United States: Mc Graw Hill.

Chapman, P. (1998). Ecotoxicology of metals in aquatic sediments: binding and release, bioavailability, risk assessment, and remediation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55(10):2221-2243.

Chessman, B. (1995). Rapid assessment of river using macroinvertebrates: a procedure based on habitat specific sampling, family level identification and biotic index. *Australian Journal of Ecology* .

Degens, S. (1991). Biogeochemistry of Major World Rivers, Scope 42 edited by E.T. New York, 356 pp.

Dekov, V. (1997). Chemical composition of sediments, suspended matter river water ground water on the Nile. *The Science of the total environment* 201, 195-210.

Di Toro, D.M., Mahony, J.D., Hansen, D.J., Scott, K.J., Carison, A.R. & Ankley, G.T. 1992. Acid volatile sulfides predicts the acute toxicity of cadmium and nickel in sediments. *Environ. Sci. Technol.*, 26: 96-101.

DMMAE, (2005). Normas técnicas del Ecuador de la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente Ordenanza Metropolitana N° 146 de 20 de mayo de 2005.

Echarri, L (1998). *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*, Rio de Janeiro, Brasil, Editorial Teide, S.A.

Emsley, J. (2003). *Nature's building blocks A-Z guide to elements*. Oxford: Oxford University press.

Elder, J. (1959). The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow. *Journal of Fluid Mechanics*.

Elizabeth, C. R. (2006). Presencia de metales pesados en la biota acuática (*Orestias* sp y *Schoenoplectus tatora*) de la desembocadura del río Ramis– lago Titicaca.

El Falaki, K. (1994). Impacto de los detergentes sobre los sedimentos. *Movilización de metales. Tecnología del agua* 128, 25-31.

FAO, I(2008). *Estudio FAO Alimentación y Nutrición*, FINUT, España.

Fisher, H. (1969). *The Effects of Bends on Dispersion in Streams*. *Water Resources Research* .

Fisher, H. (1979). *Mixing in Inland and Coastal Waters*. Academic Press, Inc., New York, USA.

- Fórstner, U. (1993). Metal speciation general concepts and applications. Int. J. Environ. Anal.Chem. 51, 5-23.
- GACETA O. (2007) Ley de aguas, Caracas, Venezuela, No. 38.595
- Gerbrandt, B. e. (2004). Contaminación del Lago Titicaca y afluentes por mercurio y otros elementos pesados. Metalurgia, Materiales y Soldadura.
- Ghetti, P. (1986). I macroinvertebrati nell' analisi di qualitia dei corsi d' aqua. University of Ljubjana., Biological assessment of stream water quality (theory, application and comparison methods), Provincia Autonoma de Trento.
- González, V. (2008). Estudio de Trazado y Calibración de Modelo Numérico en un Tramo del Río Lerma. Mexico.
- González, J. (1990). Método general para calcular coeficiente de dispersión longitudinal en ríos. Revista Ingeniería Hidráulica en México.
- Harleman, D. (1971). Estuarine Modelling: An Assessment, TRACON, Inc., for the Water Quality Office – EPA, Volume 135, 212 p. TA7 .M36 no. 71-10, Cambridge.
- Hawkes, H. A. (1979). Invertebrates as indicators of river water quality. In: James A. y L. Evison. Biological indicators of water quality.
- Hellawell, J. (1986). Biological indicators of freshwater pollution and environmental management . London: Elsevier Applied Science.

Horowitz, A.J. (1986). A primer on trace metal-sediment chemistry. U.S. Geological Survey Water-Supply paper 2277.

INRENA (2003) Eestudió integral de los recursos hídricos de la cuenca del río Ramis, Puno, Perú.

ITCR - Instituto Tecnológico de Costa Rica. (2000). Atlas digital de Costa Rica, CR. Escuela de Ingeniería Forestal.

León, L. (1990). Stability Criterion for Explicit Schemes (Finite-Difference Method), on the Solution of the Advection-Diffusion Equation, Proc. of the VIII International Conf. on Computational Methods on Water Resources. Venice, Italy.

López Hernández, M. R. (2002). Biomonitorio rápido para evaluar contaminación orgánica en el río Lerma.

Lopez, M. (1997). Caracterización limnológica del Río Duero,. Tesis Doctora, UNAM, Ciencias Biológicas.

Marquez, F (1998) Introducción a la Toxicología Ambiental, Universidad de Concepcion, COncepcion, Chile.

Martínez, G. Á. (1988). Diseños experimentales. Métodos y elementos de teoría. México : Trillas.

Meybeck, M. (1989). 'Suspended matter in rivers and lakes' In Meybeck, M. et al. (Eds): Global Freshwater Quality. A First Assessment, Blackwell, Oxford.

Minson, D. J. (1990). Forage in Ruminant Nutrition. San Diego, USA: Academic Press.

MINAM, (2008). Estándares de calidad ambiental para aguas.

Moalla, S. (1998) Distribution and chemical fractionation of some heavy metals in bottom sediments of Lake Nasser. *Hydrobiologia* 364, 31-40.

Müller, G. (1979). Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins—Veränderungen SEIT.

Mustow, S. (2002). Biological monitoring of rivers in Thailand. *Hydrobiologia*.

Nelson C.H. & Lamothe P.J. (1993) Heavy metal anomalies in the Tinto and Odiel river and estuary system, Spain. *Estuaries*, 16, 496-511.

Lenntech B.V ( 1998) Tratamiento y purificación del agua Metales pesados, universidad técnica de Delft, Holding B.V. Rotterdamseweg.

López H. M. 1997. Caracterización limnológica del Río Duero, Michoacán Tesis Doctoral en ciencias Biológicas UNAM Facultad de ciencias. 105 p.

O'Neill, P. "Arsenic". (1990) "Cadmium". *Heavy Metals in Soils*. B. Alloway, ed. London: Blackie Press.

Payne, A. (1986). *The ecology of tropical lakes and rivers*. Chichester. Great Britain: John Wiley & Sons.



- Philips, J. (2007)). Quimica, Conceptos y aplicaciones, Edi. Mcgraw - Hill, 2da edicion.
- Pinto, G. (2003) Didáctica de la Química y Vida Cotidiana Universidad Politécnica de Madrid. Madrid.
- Purves, D. (1985) Trace element contaminación of the environment. Elsevier,Ámsterdam, 260 pp.
- Rivera, H. (2001). "Introducción a la geoquímica general y aplicada". Lima,Perú, 279.
- Rutherford, J. C. (1994). River mixing. NIWA Ecosystems Natural Institute of Water and Atmosphere Research Hamilton, New Zealand.
- SEDUE. (1989). Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. México, D.F.Diario Oficial de la Federación.
- SER. (2007). Conflicto en el Altiplano Actividad minera informal en Ananea y contaminación de la cuenca del río Ramis. Documento informativo, Oficina Regional Puno Asociación SER, Puno, Perú.
- Sierra, C. (2011) Calidad del Agua, Editorial de la universidad, 1ra edición, Medellin Colombia
- Silvac, M. (2002). Capital Hídrico y Usos del Agua en Nicaragua.
- Taylor, G. (1954). The dispersion of matter in turbulent flow through a pipe. Proc. Soc. London Ser, London.

- Thorne, R. &. (1997). The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. *Freshwater Biology*, 37: 671686.
- Trelles, R. A. (1978). El problema sanitario de las aguas destinadas a la bebida humana con altos contenidos de arsénico, vanadio y flúor. *Saneamiento Universidad Nacional Agraria de la Molina*, (1999), Perú, Recuperado de [www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd08/carabaya.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd08/carabaya.pdf)
- Valsero, J. (2001) Aguas subterráneas, paisaje y vida, *Acuíferos de España* Editores: Pozo Gómez, 470 pág. 29.
- Vink, J. (1999), The electron temperature was fixed. *Adv. Space Res.*, 25, 689
- WHO. (1993). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organisation, Geneva.
- Wilhm, L. F. (1975). *Biological indicators of pollution*. California: River Ecology. Univ. of Calif. Press.
- Wright, J. (2003). *Environmental Chemistry* (1ra ed.). New York: Routledge.
- Zapata, R. (2006) *Química de los procesos Pedogenéticos* Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
- Zavala, B. y. (2005). *Estudio geoambiental de la cuenca del río Ramis*. informe en edición, Normas Riverside.



## ANEXO 1 MATERIALES.

Materiales para análisis de agua	Materiales para análisis de sedimento
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bailer de polietileno</li> <li>• Botella esterelizada</li> <li>• Cinta adhesiva</li> <li>• Tabla de campo</li> <li>• Botella Van Dorn</li> <li>• Ácido nítrico.</li> <li>• Cubeta 20 litros</li> <li>• Etiquetas para identificación de muestras</li> <li>• Bitácora de muestreador</li> <li>• GPS</li> <li>• Bolsas de polietileno</li> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Guantes de nitrilo</li> <li>• Hieleras</li> <li>• Bolígrafo tinta negra</li> <li>• Plumón de tinta indeleble</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etiquetas para identificación de muestras</li> <li>• Hoja de campo</li> <li>• Bitácora de muestreador</li> <li>• Cinta métrica o flexómetro</li> <li>• Cuchara y cucharón de acero inoxidable</li> <li>• Charola de acero inoxidable</li> <li>• GPS</li> <li>• Bolsas de polietileno de cierre rápido para envase de 1lt</li> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Guantes de nitrilo</li> <li>• Hieleras y cubetas.</li> <li>• Cinta adhesiva</li> <li>• Bolígrafo tinta negra</li> <li>• Plumón tinta indeleble</li> </ul>

## ANEXO 2 PROCEDIMIENTO METODOLOGICO.

### MUESTREO PARA METALES PESADOS.

La caracterización de mercurio total se efectuó en 3 puntos:

Punto N° 1: Inicio de la Comunidad

Punto N° 2: al nivel centro de la comunidad

Punto N° 3: Al final de la comunidad de Paria

### METODO DE MUESTREO PARA AGUA.

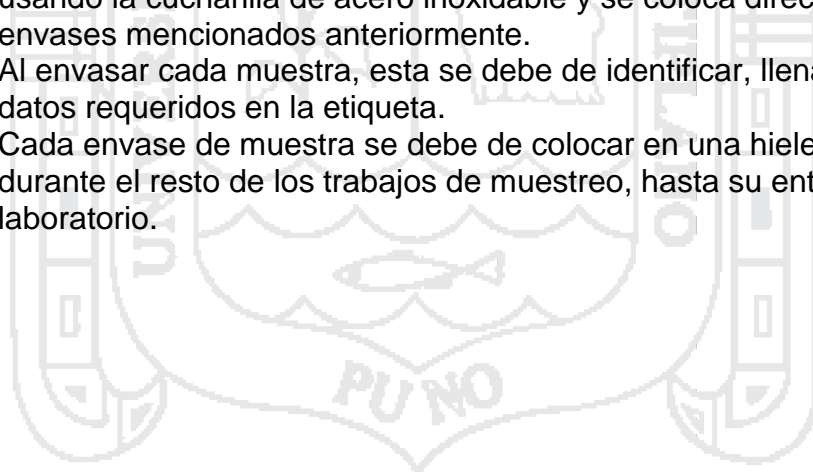
Para el muestreo de agua, se deberán seguir las siguientes recomendaciones:

- Estando en el punto especificado en el plan de muestreo, se inician los trabajos de toma de muestra.
- Enjuagar tres veces el recipiente de muestreo con el agua a coleccionar a menos que el envase contenga un conservador o sea estéril.
- Para la toma de muestras se deberán sumergir los frascos con el cuello hacia abajo hasta una profundidad de 15 a 30 cm y girarlos para tomar la muestra.
- Durante la toma de la muestra en los tres puntos (inicio, centro, final), es importante que el recipiente no toque el fondo del cuerpo muestreado, para evitar contaminación por los sedimentos revueltos.
- Para garantizar la seguridad del personal de muestreo en situaciones de riesgo asociadas al mal tiempo se deberán observar las precauciones pertinentes, como realizar el muestreo en brigadas de al menos dos personas y portar siempre el equipo de seguridad adecuado.
- Las muestras se tomaron a corriente y a profundidad medias.
- Los recipientes deberán ser abiertos a contracorriente, evitando que el agua toque las manos o algún instrumento antes de entrar al recipiente.
- A la muestra requiere preservación química, ésta se adicionará al momento del muestreo antes de cerrar el envase 3 gotitas de ácido nítrico.
- Al envasar cada muestra, ésta se debe de identificar, llenando todos los datos requeridos en la etiqueta.
- Cada envase de muestra se debe de colocar en una hielera con hielo durante el resto de los trabajos de muestreo, hasta su entrega al laboratorio.

## METODO DE MUESTREO PARA SEDIMENTO.

Para el muestreo de sedimento, se deberán seguir las siguientes recomendaciones:

- Estando en el sitio especificado en el plan de muestreo, se inician los trabajos de toma de muestra.
- Se utiliza cucharón de acero inoxidable para la toma de la muestra; se coloca la muestra extraída en la charola de acero inoxidable. Si la muestra no es suficiente se repite la operación.
- El muestreo se realizó en los 3 puntos (inicio, centro y final), teniendo cuidado de no realizar el sondeo en el fondo del cuerpo muestreado a más de 15 cm de profundidad; si la muestra no es suficiente, repetir la operación.
- Cada muestra individual se colocará en la charola de acero inoxidable para homogenizar y elaborar la muestra compuesta del sitio.
- En caso de presencia de restos de plantas o piedras, se deben retirar, salvo que se consideren importantes para el caso en estudio. En caso de presencia de piedras mayores de 2 cm de diámetro (aproximadamente), éstas deben ser retiradas.
- La muestra resultante en la charola de acero inoxidable se homogeniza usando la cucharilla de acero inoxidable y se coloca directamente en los envases mencionados anteriormente.
- Al envasar cada muestra, esta se debe de identificar, llenando todos los datos requeridos en la etiqueta.
- Cada envase de muestra se debe de colocar en una hielera con hielo durante el resto de los trabajos de muestreo, hasta su entrega al laboratorio.



**ANEXO 3 FOTOS.**

**LA PLAZA DE ARMAS DEL DISTRITO DE COJATA**



**EL RIO SUCHES**



## MUESTREO DE AGUA



## MUESTREO DE SEDIMENTO

